DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zwölfter Jahrgang. 4. Januar 1924. Heft 1.

Die elektrische Struktur der Materie[1]).

Von Sir Ernest Rutherford, Cambridge (England).

In Liverpool hat sich die British Association zum letzten Male im Jahre 1896 versammelt — unter dem Vorsitz von Lord *Lister*, dem großen Bahnbrecher in der antiseptischen Chirurgie, dessen Andenken bei allen Kulturvölkern in dankbarer Erinnerung lebt. Seine Ansprache, die hauptsächlich die Geschichte der Anwendung antiseptischer Methoden in der Chirurgie behandelte und ihre Verbindung mit dem Lebenswerke *Pasteurs*, eines der größten unter den experimentierenden Naturforschern, dessen Geburtstag dieses Jahr so eindrucksvoll gefeiert worden ist, war gleichsam eine abgeschlossene Seite ruhmreicher Geschichte der Wissenschaft. Gleichzeitig betonte *Lister* mit Nachdruck die Wichtigkeit der Entdeckung einer neuen Art Strahlen durch Röntgen, die, wie wir jetzt sehen, den Anbruch eines neuen und fruchtbaren Zeitalters für ein anderes Gebiet der Wissenschaft bedeutete.

Für mich war der Besuch in Liverpool im Jahre 1896 ein denkwürdiges Ereignis: hier nahm ich zum ersten Male an einer Versammlung der British Association teil, und hier trug ich meine erste wissenschaftliche Arbeit vor. Und was viel wichtiger war, hier konnte ich zum ersten Male die Gelegenheit nutzen, die diese Versammlungen so reichlich bieten, vielen ausgezeichneten Gelehrten des Inlandes und des Auslandes zu begegnen, die damals Gäste dieser Stadt waren. Auch aus andern Gründen ist mir das Jahr 1896 stets denkwürdig erschienen: Wenn man mit einem Gefühl für Perspektive zurückblickt, so muss man erkennen, daß die letzte Versammlung in Liverpool den Anbruch der Zeit bedeutet, die man mit Recht das heroische Zeitalter der Physik genannt hat. Nie zuvor verzeichnet die Geschichte der Physik eine Periode so intensiver Tätigkeit, in der Entdeckungen von grundlegender Wichtigkeit mit geradezu verwirrender Hast einander folgen.

Die Entdeckung der Röntgenstrahlen war der Welt Ende 1895 bekanntgemacht worden, die Entdeckung der Radioaktivität des Uraniums durch *Becquerel* zu Anfang 1896. Selbst der phantasievollste Gelehrte hätte sich damals nichts von der Erweiterung träumen lassen, die sich für unsere Kenntnis von der Struktur der Materie aus diesen beiden grundlegenden Entdeckungen entwickeln sollte. Aber in den Berichten der Liverpooler Versammlung spüren wir die aufdämmernde Erkenntnis der möglichen Konsequenzen der Entdeckung der Röntgenstrahlen — nicht nur ihrer Anwendung in der inneren Medizin und der Chirurgie, sondern als eines neuen mächtigen Agens, um gewisse grundlegende Probleme der Physik in Angriff zu nehmen. Die Ansprache von Professor *J. J. Thomson* als Vorsitzendem der Sektion A erörterte hauptsächlich die Natur der Röntgenstrahlen und die bemerkenswerten Eigenschaften, die ihr Durchgang in Gasen hervorrief — der Anfang eines neuen und fruchtbaren Forschungsgebietes.

Auch in der angewandten Physik bedeutet das Jahr 1896 den Anfang eines Fortschrittes. In der Aussprache über einen Vortrag, den ich zu halten die Ehre hatte, über einen magnetischen Detektor elektrischer Wellen, erzählte der inzwischen verstorbene *Sir William Preece* der Versammlung von der Übertragung von Signalen mit Hilfe von elektrischen Wellen, die einem jungen Italiener, *G. Marconi*, in England geglückt war. Die erste öffentliche Vorführung von Signalübertragung durch elektrische Wellen — über kurze Strecken — hatte *Sir Oliver Lodge* bei der Versammlung der British Association in Oxford 1894 veranstaltet. Die Geschwindigkeit der Entwicklung des drahtlosen Verkehrs über die größten irdischen Entfernungen hin aus so kleinen Anfängen der neuen Methode hat fast etwas Beängstigendes. In den letzten Jahren hat sich dann, fast noch schneller, die verwandte drahtlose Telephonie entwickelt, bis zu der Übertragung von Sprache und Musik aus dem Konzertsaal und dem Vortragssaal in das Privathaus, und zwar auf Entfernungen, die nur in der Leistungsfähigkeit der übertragenden Station ihre Grenze finden. Die Schnelligkeit dieser technischen Fortschritte zeigt deutlich, wie eng die Verbindung zwischen der reinen und der angewandten Wissenschaft sein muß, wenn ein schneller und dauernder Fortschritt erzielt werden soll. Der Elektrotechniker konnte für seine technischen Entwicklungen von der elektromagnetischen Theorie von *Maxwell* und deren vollständiger Bestätigung durch die Untersuchungen von *Hertz* und die Versuche von *Sir Oliver Lodge* ausgehen. Die Bestätigung war längst erbracht, ehe die praktische Anwendung dieser neuen Methode zur Zeichenübertragung allgemein erkannt worden war. Die weiteren Fortschritte der drahtlosen Telegraphie

[1]) Eröffnungsansprache des Präsidenten an die British Association in Liverpool am 12. September 1923. (Übersetzt aus dem Englischen durch die Schriftleitung.) Für die Erlaubnis zum Abdruck der Rede haben „Die Naturwissenschaften" nächst Sir Ernest Rutherford dem Council of the British Association zu danken.

und Telephonie beruhten sehr wesentlich auf den grundlegenden Forschungen über die Eigenschaften der Elektronen, und im besonderen auf der Anwendung des thermionischen Ventiles oder der Elektronenröhre — eines unschätzbaren Mittels für die Übertragung und für den Empfang elektrischer Wellen.

Der Nutzen dieser Verbindung der reinen und der angewandten Forschungen ist nicht einseitig gewesen. Wenn die Forschungen der reinen Wissenschaft den zuverlässigen Unterbau für die Anwendungen liefern, so erhöht die erfolgreiche praktische Anwendung hinwiederum das Interesse des Forschers an diesem grundlegenden Problem, und die für technische Zwecke notwendige Entwicklung neuer Methoden und Anwendungen schafft dem Forscher oft Mittel, noch schwierigere Fragen in Angriff zu nehmen. Für diese Wechselwirkung zwischen reiner und angewandter Wissenschaft gibt es in vielen Zweigen des Wissens zahlreiche Beispiele. Besonders handgreiflich ist sie bei der industriellen Entwicklung der Röntgenographie für therapeutische und industrielle Zwecke, wo die in großem Maßstabe betriebene Entwicklung von besonders konstruierten Röntgenrohren und verbesserten Betriebsmethoden dem Physiker viel wirksamere Werkzeuge zur Erforschung der Natur der Strahlen selbst und des Aufbaus der Atome verschafft hat. Niemand kann jetzt mehr zwischen der Wichtigkeit der sogenannten reinen und der angewandten Forschung eine scharfe Grenze ziehen. Beide sind gleich wichtig für den Fortschritt, und wir müssen einsehen, daß ohne blühende Forschungsstätten für die grundlegenden Fragen, sei es an den Universitäten, sei es an andern wissenschaftlichen Instituten, die technische Forschung am Ende notwendig verkümmern muß. Glücklicherweise brauchen wir diesen Punkt nicht im Augenblick besonders zu betonen, denn die Wichtigkeit der Erziehung zur reinen Forschungsarbeit ist allgemein erkannt werden. Das *Department of Scientific and Industrial Research* hat in großzügiger Weise die Mittel bewilligt, um geeignete junge Leute in Forschungsmethoden an unseren wissenschaftlichen Instituten zu erziehen, und hat besondere grundlegende Forschungen unterstützt, deren Finanzierung aus eigenen Mitteln offensichtlich die Kräfte eines Laboratoriums übersteigt. Die Stellen, die für die Verwaltung der Forschungsbeihilfen verantwortlich sind, werden ihren ganzen Scharfsinn aufbieten müssen, um die Gelder richtig zuzuteilen, und um ein Maximum an Leistung mit einem Minimum an Aufwand zu erzielen. Es ist gar leicht, viel Geld auszugeben, um ein wichtig erscheinendes technisches Problem unmittelbar anzugreifen, während die Lösung vielleicht von der Erweiterung unseres Wissens auf einem ganz andern Gebiete abhängt, die mit geringen Unkosten zu erzielen ist. Ich habe keineswegs die Absicht, die Stellen, die das Geld für die Pflege der Forschung verwalten, zu kritisieren, ich wollte nur sagen, wie schwer es ist, den richtigen Mittelweg zwischen den Ausgaben für die reine und die angewandte Wissenschaft einzuhalten, um am Ende die besten Ergebnisse zu erzielen.

Ich will heute kurz über den großen Fortschritt unsrer Erkenntnis der Natur der Elektrizität und der Materie sprechen, der den Zeitraum seit der letzten Tagung der British Association in Liverpool charakterisiert.

Um das Gebiet zu übersehen, das die Wissenschaft seitdem erobert hat, müssen wir den Stand unseres Wissens vom Aufbau der Materie beim Beginn dieser Epoche kurz schildern. Seit ihrer Begründung durch *Dalton* hat die Atomtheorie ständig an Boden gewonnen, und die philosophische Grundlage für die Erklärung der Tatsachen der chemischen Verbindung gebildet. In der Frühzeit ihrer Anwendung auf Physik und Chemie war es nicht nötig, detaillierte Kenntnisse von der Größe oder der Struktur der Atome zu haben. Man brauchte nur anzunehmen, daß die Atome als individuelle Einheiten wirkten und brauchte nur die relativen Massen der Atome der verschiedenen Elemente zu kennen. In dem nächsten Stadium, z. B. in der kinetischen Gastheorie, konnte man die Grundeigenschaften der neuen Gase durch die Annahme erklären, daß ihre Atome sich wie sehr kleine vollkommen elastische Kugeln verhielten. Während dieser Periode hatten es mannigfache Methoden, von denen viele von *Lord Kelvin* stammten, möglich gemacht, die absoluten Dimensionen und Massen der Atome ungefähr abzuschätzen. Sie brachten Klarheit über die winzige Größe und Masse der Atome und über die enorme Anzahl von Atomen, die notwendig war, um eine wahrnehmbare und messbare Wirkung zu erzeugen. Hieraus entsprang die allgemeine Vorstellung, daß es für immer ausgeschlossen sei, die Atomtheorie durch das Experiment zu bestätigen. Und deswegen wurde von einer Seite her angeregt, die Atomvorstellung überhaupt aus der Lehre der Chemie zu verbannen und das Gesetz von den multiplen Proportionen als ihre primäre grundlegende Tatsache anzunehmen.

Während die abenteuerlichsten Vorstellungen über die mögliche Struktur der Atome im Umlauf waren, war es bei den philosophisch Gerichteten allgemeiner Glaube, daß man die Atome nicht als einfache unverbundene Einheiten ansehen dürfte. Die periodischen Änderungen der Eigenschaften der Elemente, die *Mendelejew* ermittelt hatte, waren nur dann erklärbar, wenn die Atome einander ähnliche Strukturen waren und irgendwie aus ähnlichem Material aufgebaut. Wir werden sehen, daß die Frage des Aufbaus der Atome mit unserer Vorstellung von der Natur der Elektrizität eng verbunden ist. Der wunderbare Erfolg der elektromagnetischen Theorie hatte die Aufmerksamkeit auf das Medium oder den Äther konzentriert, der den Leiter der Elektrizität um-

gab, und man hatte den wirklichen Trägern des elektrischen Stromes selber wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Zur selben Zeit gewann der Gedanke Boden, die Ergebnisse von *Faradays* elektrolytischen Versuchen seien nur dann erklärbar, wenn man annähme, daß die Elektrizität wie die Materie atomistisch konstituiert sei. *Johnstone Stoney* hat dieser Fundamentaleinheit den Namen Elektron gegeben und ihre Größe ungefähr abgeschätzt, aber die wirkliche Erkenntnis der Bedeutung dieser Vorstellung gehört der neuen Epoche an.

Von außerordentlicher Wichtigkeit für die Klärung dieser etwas vagen Ideen war der Nachweis (1897) der unabhängigen Existenz des Elektrons als beweglicher elektrisierter Einheit von einer — im Vergleich mit dem leichtesten Atom — kleinen Masse. Man sah bald, daß die Elektronen ein Bestandteil aller Atome der Materie sein müssen, und daß die optischen Spektra ihren Ursprung in den Schwingungen der Elektronen haben. Die Entdeckung des Elektrons und der Nachweis, daß man es aus allen Atomen der Materie durch mannigfache Methoden in Freiheit setzen konnte, war von der größten Bedeutung, denn es sprach für die Ansicht, daß das Elektron wahrscheinlich die gemeinsame Einheit im Aufbau der Atome sei, welche durch die periodische Veränderung der chemischen Eigenschaften angedeutet worden war. Sie gab zum ersten Male Hoffnung auf den Erfolg eines Angriffes auf *das* Fundamentalproblem, die Struktur des Atoms. Im Anfang der Entwicklung dieser Frage verdankt die Wissenschaft *Sir J. J. Thomson* besonders viel: die Kühnheit seiner Gedanken und sein Scharfsinn haben uns Methoden verschafft, die Elektronenzahl im Atom abzuschätzen und seine Struktur zu untersuchen. Er kam frühzeitig zu der Ansicht, daß das Atom ein elektrischer Bau sein müsse und von elektrischen Kräften zusammengehalten würde, und gab allgemeine Richtlinien zur Erklärung der Abwandlung der physikalischen und der chemischen Eigenschaften der Elemente, für die das periodische System ein Beispiel bot.

Unterdes wurde unsere ganze Vorstellung vom Atom und von der Größe der Kräfte, die es zusammenhalten, durch das Studium der Radioaktivität revolutioniert. Die Entdeckung des Radiums war ein großer Schritt vorwärts, denn es verschaffte dem Experimentator ergiebige Strahlungsquellen, die im besonderen dazu geeignet waren, die Natur der charakteristischen Strahlungen zu untersuchen, die die radioaktiven Körper im allgemeinen aussenden. Es zeigte sich bald, daß sich die Atome der radioaktiven Materie von selber umwandelten, und daß die charakteristischen Strahlungen, die α-, β- und γ-Strahlen, Begleit- und Folgeerscheinung dieser Atomexplosionen seien. Die wunderbare Aufeinanderfolge von mehr als 30 Veränderungen im Uranium wurde bald aufgedeckt und in einfacher Weise nach der Umwandlungstheorie erklärt. Die radioaktiven Elemente verschaffen uns zum ersten Male einen Momentblick in das Laboratorium der Natur und erlauben uns, die Veränderungen, die ihren Ursprung im Herzen der radioaktiven Atome haben, zwar nicht zu beeinflussen, wohl aber zu beobachten und zu studieren. Diese Atomexplosionen schließen Energiemengen in sich, die gigantisch sind im Vergleich mit denen, die bei irgendeinem physikalischen oder chemischen Vorgange ins Spiel kommen. In der Mehrheit der Fälle wird ein α-Teilchen mit großer Geschwindigkeit ausgestoßen, aber in anderen ein schnelles Elektron oft in Begleitung eines γ-Strahles, eines sehr durchdringenden Röntgenstrahls hoher Frequenz. Der Nachweis, daß das α-Teilchen ein geladenes Heliumatom ist, offenbarte zum ersten Male die Wichtigkeit des Heliums als einer der Einheiten im Aufbau der radioaktiven Atome und wahrscheinlich auch im Aufbau der Atome der meisten Elemente überhaupt. Nicht nur unmittelbar haben die radioaktiven Elemente damals den größten Einfluß auf unsere Naturerkenntnis gehabt, sondern sie haben uns auch als Hilfsmittel experimentelle Methoden von fast gleicher Wichtigkeit verschafft. Die Anwendung von α-Teilchen als Geschossen, mit denen man in das Innere des Atoms eindringen kann, hat endgültig seine Kernstruktur enthüllt, hat zur künstlichen Zerlegung gewisser leichter Atome geführt und verspricht noch mehr Aufklärung über den wirklichen Aufbau des Kernes selbst.

Der Einfluß der Radioaktivität hat sich auch auf ein anderes Forschungsgebiet von faszinierendem Interesse ausgedehnt: Die ersten ungefähren Abschätzungen der Größe und der Masse des Atoms gaben wenig Hoffnung darauf, die Wirkung eines einzelnen Atomes aufzudecken. Die Entdeckung, daß die radioaktiven Körper geladene Heliumatome mit ungeheurer Energie aussenden, änderte die Aussichten. Die an einem einzelnen α-Teilchen haftende Energie ist so groß, daß sie durch mannigfache Methoden aufgedeckt werden kann. Jedes α-Teilchen erzeugt, wenn es einen mit Zinksulfid bedeckten Schirm trifft, wie *Sir William Crookes* zuerst gezeigt hat, einen Lichtblitz, der im dunklen Zimmer leicht wahrnehmbar ist. Diese Szintillationsmethode zur Zählung einzelner Teilchen hat sich bei vielen Untersuchungen als unschätzbar erwiesen, denn sie liefert uns eine Methode von unerreichter Empfindlichkeit, um die Wirkungen einzelner Atome zu studieren. Man kann das α-Teilchen auch elektrisch oder photographisch auffinden, aber das wirksamste und schönste Verfahren ist das von *C. T. R. Wilson* zur Vollendung gebrachte, die Bahn in einem Gase zu beobachten, und zwar nicht nur die Bahn eines α-Teilchens, sondern jeder Art durchdringender Strahlung, die Ionen oder elektrisierte Teilchen auf ihrem Wege erzeugt. Das Verfahren ist verhältnismäßig ein-

fach und beruht auf der zuerst von ihm entdeckten Tatsache, daß, wenn sich ein mit Wasserdampf gesättigtes Gas plötzlich abkühlt, jedes der von der Strahlung erzeugten Ionen zum Ansatzkern eines sichtbaren Wassertropfens wird. Die Wassertropfen längs der Bahn des α-Teilchens sind deutlich sichtbar und können photographisch festgehalten werden. Die schönen Photographien der von den einzelnen Atomen oder einzelnen Elektronen erzeugten Wirkung sprechen eindringlich zu allen wissenschaftlich denkenden Menschen. Sie beweisen nicht nur überzeugend die diskrete Natur dieser Teilchen — sie geben uns auch von neuem Mut und Zuversicht, daß wir uns auch in diesem Forschungsgebiete auf das Experiment und die Deduktion verlassen dürfen, denn viele der wesentlichen Punkte, die in diesen Photographien so klar herauskommen, waren behauptet worden, lange bevor solche greifbaren Bestätigungen zur Verfügung standen. Das sorgfältige Studium der Einzelheiten dieser Photographien klärt uns über viele verborgene Wirkungen auf, die diese fliegenden Geschosse und durchdringenden Strahlungen beim Durchgang durch Materie verursachen.

Unterdes hatte man neue Verfahren entwickelt, um die Masse eines einzelnen Atomes und die Zahl der Atome in einem gegebenen Quantum Masse zu ermitteln. Die Übereinstimmung der Ergebnisse dieser physikalisch völlig verschiedenen Methoden erhöhte das Vertrauen in die Richtigkeit der atomistischen Vorstellung. Das der größten Genauigkeit fähige Verfahren beruht auf dem endgültigen Nachweis der atomistischen Natur der Elektrizität und auf der genauen Auswertung der grundlegenden Ladungseinheit. Wir haben gesehen, daß man die atomistische Natur der Elektrizität frühzeitig vermutet hatte. Die Vermutung wurde bestätigt und erweitert durch ein Studium der Ladungen auf Elektronen, auf α-Teilchen und auf den durch Röntgenstrahlen und radioaktive Strahlen erzeugten Gasionen. Zuerst hat *Townsend* gezeigt, daß die positive oder negative Ladung auf einem Gasion stets gleich der von dem Wasserstoffion bei der Elektrolyse mitgeführten Ladung ist, die, wie wir gesehen haben, *Johnstone Stoney* — und mit Recht — für die Fundamentaleinheit hielt. Die bekannteste und genaueste Methode, sie zu messen (*Millikan*), vergleicht die Anziehung eines elektrischen Feldes auf ein geladenes Quecksilbertröpfchen mit dessen Gewicht. *Millikans* Versuche gaben einen höchst überzeugenden Nachweis für die Richtigkeit der Elektronentheorie und führten zu einer Messung dieser wirklich fundamentalen physikalischen Einheit mit einer Genauigkeit von ungefähr eins auf tausend. Kennt man diesen Wert, so kann man aus elektrochemischen Daten die Masse der einzelnen Atome und die Molekülzahl in einem Kubikzentimeter Gas leicht berechnen, und zwar mit einer größeren Genauigkeit als eins auf hundert, möglicherweise sogar mit einer Genauigkeit von eins auf tausend. In Anbetracht der Kleinheit der Elektrizitätseinheit und der Atommasse ist dies selbst in einem Zeitalter großer Fortschritte eine der bemerkenswertesten experimentellen Leistungen.

Die Vorstellung von der Atomistik der Elektrizität ist eng verknüpft mit dem Angriff auf das Problem des Atombaues. Ist das Atom elektrisch aufgebaut, so kann es nur eine *ganze* Zahl geladener Einheiten enthalten, und da es für gewöhnlich neutral ist, nur die *gleiche* Anzahl positiver und negativer Ladungseinheiten. Eine der Hauptschwierigkeiten in dieser Frage bot die Ungewißheit über den relativen Anteil der positiven und der negativen Elektrizität beim Aufbau des Atoms. Wir wissen: das Elektron hat eine negative Ladung von der Fundamentaleinheit; das geladene Wasserstoffatom, gleichviel ob bei der Elektrolyse oder bei der elektrischen Entladung, eine Ladung einer positiven Einheit. Dabei ist die Masse des Elektrons nur 1/1840 von der Masse des Wasserstoffatoms, und trotz ausgedehnter Suche darnach spricht nicht der leiseste Beweis für die Existenz eines positiven Elektrons von kleinerer Masse, als das negative sie hat. Niemals hat sich eine positive Ladung auffinden lassen, die mit einer kleineren Masse als der des geladenen Wasserstoffatomes verbunden gewesen wäre. Dieser Unterschied zwischen der positiven und der negativen Elektrizität ist auf den ersten Blick sehr überraschend, aber je tiefer wir eindringen, desto stärker betont zeigt sich dieser grundsätzliche Unterschied zwischen den Einheiten der positiven und der negativen Elektrizität. Tatsächlich ist der Atombau, wie wir später sehen werden, ganz unsymmetrisch mit Bezug auf die positiven und negativen Einheiten in ihm, und es scheint tatsächlich so, als ob Materie, wie wir sie kennen, nicht existieren könnte, wenn dieser Massenunterschied zwischen den beiden Einheiten nicht bestünde.

Selbstverständlich forscht man nach einer Erklärung für diesen einschneidenden Massenunterschied der beiden Einheiten. Alle wissenschaftlich Denkenden werden davon überzeugt sein, daß die kleine Masse des negativen Elektrons ganz und gar der Energie seiner elektrischen Struktur zugeschrieben werden muß, so daß das Elektron als ein masseloses Atom negativer Elektrizität gelten kann. Ein in Bewegung befindliches Elektron besitzt nicht nur ein elektrisches Feld, es erzeugt außerdem ein magnetisches Feld um sich herum und speichert Energie in elektromagnetischer Form in dem umgebenden Medium auf, die sich mit dem Elektron bewegt. Das gibt dem Elektron eine scheinbare oder elektrische Masse, die zwar bei kleinen Geschwindigkeiten konstant ist, die aber rapide wächst, wenn sich die Geschwindigkeit der des Lichtes nähert. Dieser Massenzuwachs stimmt mit dem Ergebnis der Rechnung gut überein, gleichviel ob man von der gewöhnlichen elektrischen Theorie oder von der

Relativitätstheorie ausgeht. Nun ist aber das Wasserstoffatom das leichteste von allen Atomen und vermutlich das einfachste im Aufbau, und das geladene Wasserstoffatom, das, wie wir sehen werden, als der Wasserstoffkern zu betrachten ist, besitzt eine positive Ladungseinheit. Das drängt zu der Annahme, daß der Wasserstoffkern das Atom der positiven Elektrizität oder das positive Elektron ist, dem negativen Elektron analog, aber an Masse verschieden von ihm. Die elektrische Theorie zeigt, daß die Masse einer gegebenen Elektrizitätsladung mit der Konzentration zunimmt, und die größere Masse des Wasserstoffkerns wäre erklärlich, wenn seine räumliche Ausdehnung sehr viel kleiner wäre als die des Elektrons. Dieser Schluß wird durch Beweismaterial aus dem Studium der Zusammenstöße von α-Teilchen mit Wasserstoffkernen unterstützt. Man findet, daß der Wasserstoffkern überaus klein sein muß, mit einem Radius, der kleiner ist als der des Elektrons, den man für gewöhnlich mit 10^{-13} cm annimmt; das experimentelle Beweismaterial ist auch nicht unvereinbar mit der Ansicht, daß der Wasserstoffkern tatsächlich viel kleiner als das Elektron sein kann. Die größere Masse des positiven Elektrizitätsatoms läßt sich also auf diese Weise erklären. Aber das Rätsel bleibt bestehen, warum die beiden Elektrizitätseinheiten in dieser Beziehung so ausgesprochen voneinander abweichen. Es scheint bei dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens nicht möglich, weiter vorzudringen oder das Problem von der Beziehung der beiden Einheiten zu erörtern.

Wir werden sehen, daß wir das stärkste Beweismaterial dafür besitzen, daß die Atome der Materie aus diesen zwei elektrischen Einheiten bestehen, dem Elektron und dem Wasserstoffkern oder Proton, wie es gewöhnlich genannt wird, wenn es einen Teil der Struktur eines Atoms bildet. Es ist wahrscheinlich, daß diese zwei die fundamentalen und unteilbaren Einheiten sind, die unser Universum aufbauen. Aber wir werden doch die Möglichkeit im Auge behalten müssen, daß weitere Forschung eines Tages diese Einheiten als zusammengesetzt nachweist und selber aus noch fundamentaleren Einheiten bestehend. Gleichzeitig muß man damit rechnen, daß die wirkliche Masse eines Atoms etwas kleiner sein kann als die Summe der Massen der am Aufbau beteiligten positiven und negativen Elektronen, wenn sie in freiem Zustande sind. Aus der sehr engen Nachbarschaft der geladenen Einheiten in dem Kern eines Atoms und der daraus folgenden Störung des sie umgebenden elektrischen und magnetischen Feldes ist eine solche Massenabnahme aus allgemeinen theoretischen Gründen vorauszusehen.

Wir müssen jetzt auf die Entwicklung unserer Vorstellungen von dem Aufbau der Atome zurückblicken. Daß Elektronen wichtige Bauelemente seien, lag um das Jahr 1900 herum klar zutage, aber es kam zu keinem rechten Fortschritt, ehe die Rolle der positiven Ladungen aufgeklärt war. Neues Licht erhielt die Frage durch die Untersuchung der Ablenkung der α-Teilchen bei ihrem Durchgang durch die Atome. Gelegentlich wurde ein schnelles α-Teilchen von seiner geradlinigen Bahn um mehr als neunzig Grad abgelenkt, wenn es mit einem einzelnen Atom zusammentraf. Bei einem solchen Zusammenstoß gelten für gewöhnlich die Gesetze der Dynamik, und die Beziehung zwischen den Geschwindigkeiten der zusammenstoßenden Atome vor und nach dem Stoß sind dieselben, wie bei zusammenstoßenden Teilchen vollkommen elastischer Kugeln von minimalen Abmessungen. Aber bei diesen Atomzusammenstößen ist nicht die Rede von mechanischen Stößen, wie bei gewöhnlicher Materie. Die Wechselwirkung zwischen zwei Teilchen geschieht hier durch Vermittlung der sie umgebenden ungeheuren elektrischen Felder. Die Herren *Wilson* und *Blackett* haben schöne Photographien erzielt, die die Gesetze des Zusammenstoßes zwischen einem α-Teilchen und einem Atom erschließen lassen, und Herr *Wilson* hat kürzlich überzeugende Bilder von Zusammenstößen zwischen zwei Elektronen erhalten. Bedenkt man die große kinetische Energie des α-Teilchens, so läßt seine Ablenkung um einen großen Winkel bei einem einzelnen Atomzusammenstoß auf sehr große ablenkende Kräfte im Innern des Atomes schließen. Elektrische Felder der erforderlichen Größe waren offenbar nur dann möglich, wenn die Hauptladung des Atoms in einem sehr kleinen Kern konzentriert war. Hieraus entwickelte sich die Konzeption des jetzt so gut bekannten Kernatoms: sein Herz, vermutlich ein sehr kleiner Massenkern, mit einer positiven elektrischen Ladung, ist in gewissen Abständen von derjenigen Anzahl Elektronen umgeben, die das Atom zu einem neutralen machen.

Geiger und *Marsden* untersuchten die Zerstreuung von α-Teilchen unter verschiedenen Winkeln und fanden die Ergebnisse in enger Übereinstimmung mit der Theorie und die Änderung der elektrischen Kräfte in der Nähe des Kernes umgekehrt proportional dem Quadrate des Abstandes. Überdies führten die Versuche auf eine obere Grenze für die Kerndimensionen. Der Kernradius eines schweren Atoms, wie des Goldatoms, der Kern als Kugel vorausgesetzt, ist kleiner als ein Tausendstel des von seinen Elektronen umgebenen vollständigen Atoms, und sicher kleiner als 4.10^{-12} cm. Die Atome zeigten alle diese Kernstruktur und man schätzte die Kernladung verschiedener Atome angenähert ab. Dieses Kernatom, zu dem uns das experimentelle Beweismaterial führt, besitzt einige sehr einfache Eigenschaften. Offensichtlich bestimmt die Anzahl der positiven Ladungseinheiten im Kern die Zahl der äußeren planetarischen Elektronen im neutralen Atom. Da diese äußeren Elektronen irgendwie durch anziehende vom Kern ausgehende

Kräfte im Gleichgewicht erhalten werden, und da wir (nach dem allgemeinen physikalischen und chemischen Beweismaterial) überzeugt sind, daß alle Atome desselben Elementes der äußeren Struktur nach identisch sind, so werden ihre Anordnung und ihre Bewegung offenbar ganz und gar durch die Größe der Kernladung bestimmt. Die chemischen und die physikalischen Eigenschaften sind hauptsächlich der Anordnung und Bewegung der äußeren Elektronen zuzuschreiben, die Eigenschaften eines Atoms werden also durch eine ganze Zahl definiert, die seine Kernladungszahl darstellt. Es ist daher wichtig, die Kernladungszahl der Atome aller Elemente zu ermitteln. Zahlenangaben, die man aus der Zerstreuung von α-Teilchen (auch aus der Zerstreuung von Röntgenstrahlen) an leichten Elementen bekommen hatte, ließen darauf schließen, daß die Kernladung eines Elementes numerisch etwa gleich der Hälfte des Atomgewichts sei (auf Wasserstoff bezogen). Aus allgemeinen Beweisgründen ging ziemlich deutlich hervor, daß der Wasserstoffkern die Ladung 1 und der Heliumkern, das α-Teilchen, die Ladung 2 habe. Da verschaffte uns eine neue Entdeckung von ungeheurer Tragweite ein Verfahren zum erfolgreichen Angriff des Problems. *v. Laue* hatte durch seine Versuche, Röntgenstrahlen durch Kristalle zu beugen, endgültig bewiesen, daß die Strahlung elektromagnetischer Natur sei und von sehr viel kürzerer Wellenlänge als das Licht. *Sir William Bragg* und *W. L. Bragg* hatten dann durch ihre Versuche einfache Methoden geliefert, das Spektrum eines Bündels Röntgenstrahlen zu untersuchen. Das Spektrum zeigte im allgemeinen einen kontinuierlichen Hintergrund und ein darüber gelagertes Spektrum heller Linien. Um diese Zeit begann *H. G. J. Moseley* seine Untersuchung der Frage, ob die Eigenschaften eines Elementes von der Kernladung abhingen statt vom Atomgewicht, wie man gewöhnlich annahm. Er untersuchte zu dem Zweck die Röntgenspektren von Elementen und fand sie alle von ähnlichem Typus. Die Frequenz einer gegebenen Linie änderte sich nahezu mit dem Quadrat einer ganzen Zahl, die sich von einem Element zum nächsten selber um eins änderte. *Moseley* identifizierte diese ganze Zahl mit der Atom- oder Ordnungszahl der Elemente, wenn er sie nach steigender Atomgewichtszahl ordnete und dabei die bekannten Anomalien im periodischen System der Elemente und die Lücken darin berücksichtigte, die möglicherweise existierenden, aber uns noch nicht bekannten Elementen entsprachen. Er schloß daraus, daß die Atomnummer eines Elementes ein Maß für seine Kernladung sei — ein Schluß, dessen Richtigkeit neuerdings *Chadwick* (durch direkte Versuche über die Streuung von α-Teilchen) bestätigt hat. *Moseleys* Entdeckung ist grundlegend. Sie legt nicht nur die Elektronenzahl in den Atomen aller Elemente fest, sondern sie zeigt entscheidend, daß die Eigenschaften eines Atoms, wie vermutet worden war, nicht von seinem Atomgewicht bestimmt werden, sondern von seiner Kernladung. Das enthüllt eine erstaunlich einfache Beziehung zwischen den Elementen. Wer hätte voraussagen können, daß alle Atomzahlen zwischen 1 (Wasserstoff) und 92 (Uranium) — mit wenigen Ausnahmen — bekannten Elementen entsprechen würden! Die zwingende Gewalt, mit der das Moseleysche Gesetz die Atomzahl eines Elementes festlegt, zeigt sich schlagend in der Entdeckung des bis dahin fehlenden Elementes mit der Atomnummer 72, das seine Entdecker *Coster* und *v. Hevesy* in Kopenhagen Hafnium genannt haben.

Sind die Hauptzüge des Atombaus festgelegt und ist die Elektronenzahl bekannt, so stellt uns das weitere Studium der Atomstruktur naturgemäß vor zwei große Fragen: 1. die Frage nach der Anordnung der äußeren Elektronen, die die hauptsächlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Elementes bestimmen, und 2. die Frage nach der Struktur des Kernes, von dem die Masse und die Radioaktivität des Atoms abhängen. Nach der Kerntheorie ist das Wasserstoffatom äußerst einfach. Es besteht aus einem einfach geladenen positiven Kern mit einem einzigen Elektron als Begleiter. Die Lage und die Bewegung des Elektrons müssen das verwickelte optische Spektrum erklären und überhaupt die physikalischen und chemischen Eigenschaften, die dem Wasserstoffatom zugeschrieben werden. Der erste entscheidende Angriff auf das Problem des Elektronenaufbaus des Atoms kam von *Niels Bohr*. Er sah klar, daß, wenn man diesen einfachen Aufbau als gegeben annahm, das Wasserstoffspektrum nach den klassischen elektrischen Theorien unerklärbar ist und daß man die bisherige Vorstellung vollkommen aufgeben müßte. Er machte für das Atom die Grundvorstellungen der Quantentheorie nutzbar, die *Planck* für andere Zwecke entwickelt hatte, und die schon grundsätzliche Schwierigkeiten in vielen anderen physikalischen Fragen aufgeklärt hatte. Nach *Plancks* Theorie wird die Strahlung in bestimmten Einheiten oder Quanten ausgesendet. Die Strahlungsenergie E ist gleich $h\nu$, wo ν die nach den gewöhnlichen Methoden gemessene Frequenz der Strahlung und h eine konstante Zahl ist. Dieses Strahlungsquantum ist nicht eine endgültige festgelegte Einheit, wie das Elektrizitätsatom es ist, seine Größe hängt vielmehr von der Frequenz ν der Strahlung ab. Die Energie eines Quants ist z. B. klein für sichtbares Licht, wird aber groß für Strahlung von so hoher Frequenz wie der Röntgenstrahlen oder der γ-Strahlen.

Die verfügbare Zeit gestattet nicht, die ganze Bedeutung der Quantentheorie oder die mit ihr verknüpften Schwierigkeiten zu besprechen. Manche dieser Schwierigkeiten hat *Sir Oliver Lodge* in seiner Eröffnungsansprache an die British Association in Birmingham im Jahre 1913

erörtert. Es genüge, zu sagen, daß die Theorie in mehreren Gebieten ihren hohen Wert erwiesen hat und durch eine große Menge von unmittelbarem experimentellem Beweismaterial gestützt wird.

Bei der Anwendung der Quantentheorie auf den Bau des Wasserstoffatoms nahm *Bohr* an, daß das Elektron, beherrscht von der anziehenden Kraft des Kernes, sich in einer Anzahl von stabilen Bahnen bewegen könnte, ohne durch Ausstrahlung an Energie zu verlieren. Lage und Charakter dieser Bahnen waren durch gewisse Quantenbeziehungen definiert, die auf einer oder mehreren ganzen Zahlen beruhten. *Bohr* nahm an, daß das Elektron nur dann ausstrahle, wenn es aus irgendeinem Grunde von der einen stabilen Bahn auf eine andere von niederer Energie überginge und dann eine homogene Strahlung von der Frequenz ν aussende, die sich durch die Quantenbezeichnung $E = h\nu$ bestimmt, in der E den Unterschied der Energie bedeutet, die das Elektron in den zwei verschiedenen Bahnen besitzt. Einige dieser möglichen Bahnen sind Kreise, andere Ellipsen mit dem Kern als einem Brennpunkt. Berücksichtigt man aber die Änderung der Elektronenmasse mit der Geschwindigkeit, dann hängen die Bahnen nach *Sommerfeld* von zwei Quantenzahlen ab und sind nicht geschlossen, sondern bestehen aus einer nahezu elliptischen Bahn, die langsam um den Kern rotiert. Auf diese Weise kann man nicht nur die Serienbeziehungen zwischen den hellen Linien des Wasserstoffspektrums erklären, sondern auch die Feinstruktur der Linien und die sehr verwickelten Veränderungen der Strahlungen durch ein starkes magnetisches oder elektrisches Feld. Unter gewöhnlichen Bedingungen läuft das Elektron in dem Wasserstoffatom auf einer Kreisbahn dicht um den Kern. Wird aber das Atom durch eine elektrische Entladung oder irgendwie sonst erregt, so kann das Elektron auf eine andere der stabilen, durch die Theorie näher angegebenen Bahnen übergehen. In einer strahlenden Gasmasse, die das vollständige Wasserstoffspektrum aussendet, werden viele verschiedene Arten von Wasserstoffatomen vorhanden sein. In jeder einzelnen Art beschreibt das Elektron eine der von der Theorie näher bestimmten möglichen Bahnen. Daß das Wasserstoffatom so verschiedenartig schwingen kann, ist danach nicht der komplexen Struktur des Atoms zuzuschreiben, sondern der Vielfältigkeit der stabilen Bahnen, die ein Elektron um den Kern durchlaufen kann. Diese neuartige Theorie vom Ursprung der Spektren ist nicht nur auf Wasserstoff anwendbar, sondern auf alle Elemente, und sie hat den Ursprung und die Beziehungen ihrer Spektren, sowohl der Röntgenspektren wie der optischen, ins hellste Licht gesetzt. Die so gewonnene Erkenntnis hat *Bohr* dann benutzt, die Verteilung der Elektronen rund um den Kern eines Atoms zu ermitteln. Das Problem ist offensichtlich für Wasserstoff viel einfacher als für ein schweres Atom, wo jedes einzelne der vielen Elektronen auf jedes andere einwirkt und wo die Bahnen viel verwickelter sind als die Bahn des einzigen Elektrons im Wasserstoff. Aber trotz dieser Schwierigkeiten ist es geglückt, die Quantenzahlen festzulegen, die die Bewegung jedes einzelnen Elektrons charakterisieren und sich eine ungefähre Vorstellung von dem Charakter der Bahn zu machen.

Diese planetarischen Elektronen bilden einzelne Gruppen, je nachdem ihre Bahnen durch eine oder mehrere gleiche Quantenzahlen charakterisiert werden. Ohne auf Einzelheiten einzugehen, gebe ich einige Beispiele, um die Schlüsse, zu denen man bisher gelangt ist, zu erläutern. Wir haben gesehen, das erste Element, Wasserstoff, hat die Kernladung 1 und 1 Elektron, das zweite, Helium, hat die Ladung 2 und 2 Elektronen, die in zwei miteinander verbundenen Bahnen umlaufen, über deren Einzelheiten man noch etwas im unklaren ist. Diese zwei Elektronen bilden die sogenannte K-Gruppe, eine bestimmte Gruppe, die allen Elementen mit Ausnahme des Wasserstoffes gemeinsam ist. Nimmt die Kernladung zu, so behalten die K-Gruppenelektronen zwar ihre charakteristischen Merkmale, sie bewegen sich aber mit zunehmender Geschwindigkeit und rücken dem Kerne näher. Gehen wir vom Helium mit der Atomnummer 2 zum Neon mit der Nummer 10 über, so sehen wir eine neue Gruppe von Elektronen hinzutreten, die L-Gruppe, die selber aus zwei Untergruppen besteht, jede aus vier Elektronen. Diese L-Gruppe tritt in allen Atomen von höherer Atomzahl auf. Wie bei der K-Gruppe, wächst die Geschwindigkeit der Elektronen und verengen sich ihre Bahnen, während die Atomnummer steigt. Ist die L-Gruppe voll entwickelt, so beginnt sich eine neue und noch kompliziertere M-Gruppe außerhalb zu bilden und ein ähnlicher Vorgang wiederholt sich, bis das Uranium, das Element mit der größten Atomnummer, erreicht ist.

Um uns den so gewonnenen Atombegriff sinnlich zu veranschaulichen, wenden wir uns zu dem schwersten Atom, dem Uranium. Im Mittelpunkt des Atomes steht ein winziger Kern, den 92 Elektronen umkreisen, alle auf bestimmten Bahnen und einen Raum einnehmend, aber keineswegs ausfüllend, der im Vergleich mit dem Kerne sehr groß ist. Einige der Elektronen beschreiben nahezu Kreise um den Kern, andere Bahnen von mehr elliptischer Form, deren Achsen sehr schnell um den Kern rotieren. Die Bewegung der Elektronen in den verschiedenen Gruppen ist nicht notwendig auf einen bestimmten Bezirk des Atoms beschränkt, sondern die Elektronen der einen Gruppe können tief in den hauptsächlich von einer andern Gruppe besetzten Bezirk eindringen. Sie bewerkstelligen so eine Art Verbindung zwischen den verschiedenen Gruppen. Die maximale Geschwindigkeit eines Elektrons hängt davon ab, wie nahe es dem Kerne kommt, aber das weitest

draußen befindliche Elektron wird mindestens eine Geschwindigkeit von mehr als 1000 km in der Sekunde haben, die innersten K-Elektronen haben eine durchschnittliche Geschwindigkeit von mehr als 150 000 km in der Sekunde, d. h. mehr als die halbe Lichtgeschwindigkeit. Veranschaulicht man sich die außerordentliche Verwickeltheit des Elektronensystems, so kann man wohl überrascht sein, daß es möglich gewesen ist, überhaupt so etwas wie Ordnung in dem scheinbaren Tohuwabohu von Bewegungen zu entdecken.

Um zu diesen Schlüssen zu kommen, die wir zum größten Teil *Niels Bohr* und seinen Mitarbeitern verdanken, ist jede nur irgendwie verwertbare Angabe über die verschiedenen Atome herangezogen worden. Die Röntgenspektren im besonderen geben Aufschluß von größtem Wert über die Anordnung der verschiedenen Gruppen im Atom, das optische Spektrum und die allgemeinen chemischen Eigenschaften sind von großer Wichtigkeit für die Erkenntnis der Anordnungen der Außenelektronen. Die von *Bohr* vorgeschlagene Lösung der Aufgabe, die Elektronen zu gruppieren, ist zwar von Überlegungen dieser Art unterstützt worden. Sie ist aber doch nicht empirischen Charakters, sondern ruht im wesentlichen auf allgemeinen theoretischen Überlegungen über die Elektronenbahnen, die nach der verallgemeinerten Quantentheorie physikalisch möglich sind. Das eigentliche hier vorliegende Problem kann man so erläutern: angenommen, der Kern des Goldatoms würde seiner begleitenden 79 Elektronen entkleidet und das Atom sollte wiederhergestellt werden, indem man die Elektronen eines nach dem andern wieder hinzufügt. Nach *Bohr* wird das Atom nur in einer einzigen Weise wieder hergestellt werden und eine Gruppe nach der andern wird sich bilden und in der skizzierten Weise aufgefüllt werden. Man hat das Kernatom oft mit einem Sonnensystem verglichen mit dem Kern als Sonne und den Elektronen als Planeten. Man darf die Analogie aber nicht zu weit treiben. Angenommen z. B., ein großer und sehr schneller fremder Himmelskörper durchquere unser Sonnensystem ohne irgendeine Katastrophe für ihn selbst oder für die Planeten. Als Wirkungen dieser Durchquerung würden trotzdem dauernde Veränderungen in den Längen der Monate und der Jahre zurückbleiben und das System würde niemals wieder in seinen früheren Zustand zurückkehren. Dies halte man neben die Wirkung eines Elektrons oder eines α-Teilchens, das man durch den Elektronenbau des Atoms hindurchschießt. Die Bewegung vieler Elektronen wird gestört werden, in besonderen Fällen kann ein Elektron aus seiner Bahn herausgerissen und aus seinem Atomsystem hinausgeschleudert werden. Bald aber wird ein anderes Elektron aus einer anderen Gruppe in den leer gewordenen Platz fallen, der von diesem Elektron aufgegebene Platz wird auch ausgefüllt werden und so fort, bis das Atom wiederhergestellt ist. Stets ist der Endzustand des Elektronensystems derselbe wie im Anfang. Diese Veranschaulichung dient auch dazu, den Ursprung der im Atom erregten Röntgenstrahlen zu verdeutlichen: sie entstehen bei dem Wiederaufbau eines Atoms, aus dem ein Elektron hinausgeschleudert worden ist, und die Strahlung der höchsten Frequenz entsteht, wenn das Elektron aus der K-Gruppe entfernt wird.

Vielleicht ist es noch zu früh zu einer endgültigen Ansicht über die Richtigkeit dieser Theorie, die den äußeren Bau des Atoms erklärt, aber einen großen Fortschritt bedeutet sie. Sie erklärt nicht nur allgemein die optischen und die Röntgenspektra der Atome, sie erklärt auch im einzelnen viele Eigenheiten des periodischen Systems. Sie verhilft uns zum erstenmal zu einer klaren Vorstellung darüber, warum in der Familie der Elemente Gruppen von aufeinanderfolgenden Elementen auftreten, die einander ähnliche chemische Eigenschaften haben; so z. B. die Gruppen, die der Eisengruppe analog sind, und die einzig dastehende Gruppe der seltenen Erden. Wie alle wirklich lebensvollen Theorien hat auch *Bohrs* Theorie nicht nur eine Menge isoliert dastehender, wenn auch bekannter Dinge miteinander verbunden, sondern sie hat ihre zeugende Kraft auch in der Voraussage neuer dem Experiment zugänglicher Beziehungen erwiesen. So hat die Theorie z. B. die Beziehungen vorausgesagt, die zwischen den Rydbergkonstanten der Bogen- und der Funkenspektren bestehen müssen, und überhaupt zwischen allen aufeinanderfolgenden optischen Spektren eines Elementes — eine Voraussage, die *Paschen* durch seine Arbeit über das Spektrum des doppelt ionisierten Aluminiums bestätigt hat, und *Fowler* durch seine Arbeit über das Spektrum des dreifach ionisierten Siliziums. Schließlich sagte sie die chemischen Eigenschaften des noch fehlenden Elementes 72 so zuversichtlich voraus, daß damit der notwendige Anreiz für seine jüngst erfolgte Entdeckung gegeben war.

Unsere Erkenntnis des äußeren Baues der Atome ist zwar viel schneller fortgeschritten als vorauszusehen war, trotzdem stehen wir noch am Anfang der Lösung des Problemes und es ist noch ungeheuer viel Arbeit zu leisten, ehe wir uns auch nur von dem äußeren Bau des Atoms ein vollkommenes Bild machen können. Im großen und ganzen ist die Struktur sicherlich aufgeklärt, aber bei einem so ungeheuer verwickelten Problem ist der Fortschritt, soweit er die Einzelheiten angeht, mit Notwendigkeit nur äußerst langsam.

Wir haben bisher noch gar nicht von der Erklärung der chemischen Verbindung der Atome gesprochen. Tatsächlich hat sich auch bisher die Theorie mit der Molekularstruktur kaum beschäftigt. Die Chemiker aber haben bereits gewisse Fortschritte gemacht, namentlich *G. N. Lewis, Kossel* und *Langmuir* in der Deutung des chemischen Beweismaterials durch die Vorstellung

von gemeinsamen Elektronen, die beim Elektronenaufbau von zwei verbundenen Atomen eine Rolle spielen. Zweifellos wird das nächste Jahrzehnt einen verstärkten Angriff der Physiker und der Chemiker auf diese sehr wichtige, aber auch sicher sehr verwickelte Frage erleben.

Ehe wir den Gegenstand verlassen, dürfte es angebracht sein, auf gewisse Punkte mehr philosophischer Natur in *Bohrs* Theorie hinzuweisen. Man sieht: die Bahnen und die Energie verschiedener Elektronengruppen lassen sich durch gewisse Quantenzahlen genau bezeichnen, und die Natur der mit einem Wechsel der Bahn verbundenen Strahlung läßt sich erklären. Aber wir können doch nicht erklären, warum allein diese Bahnen unter normalen Bedingungen zulässig sind, oder durch welchen Mechanismus die Ausstrahlung zustande kommt. Vielleicht ist es möglich, die Energiebeziehung der Elektronen in dem Atom auf Grund einer einfachen Theorie richtig zu formulieren, und alle Eigenschaften eines Atoms, auch die Einzelheiten, zu erklären, ohne daß man ein klares Verständnis für die zugrundeliegenden Vorgänge hat, die zu diesen Ergebnissen führen. Wir hoffen natürlich, daß wir mit dem Fortschritt unserer Erkenntnis imstande sein werden, hinter die Einzelheiten des Vorganges zu kommen, der zur Aussendung der Strahlung führt, und daß wir verstehen werden, warum die Elektronenbahnen in dem Atom durch die Quantenbeziehungen erklärt werden. Manche neigen allerdings zu der Ansicht, es sei beim gegenwärtigen Stande des Wissens der Natur der Sache nach unmöglich, jenes zeitlich und räumlich ins einzelne gehende Bild von aufeinanderfolgenden Ereignissen zu entwerfen, die wir uns als einen so wichtigen Teil einer vollständigen Theorie anzusehen gewöhnt haben. Das Atom ist naturgemäß „der" Fundamentalbau, der sich uns darbietet. Seine Eigenschaften müssen die Eigenschaften verwickelterer Strukturen erklären, einschließlich der Materie im ganzen. Aber wir sind deswegen noch nicht zu der Erwartung berechtigt, die Vorgänge in ihm durch Begriffsbildungen aufklären zu können, die sich samt und sonders aus einem Studium molarer Eigenschaften herleiten lassen. Die damit zusammenhängenden Atomvorgänge sind vielleicht so fundamentaler Natur, daß ihr vollständiges Verständnis uns verschlossen ist. Es ist zum Pessimismus gegenüber dieser Frage zu früh, denn wir können hoffen, diese Schwierigkeiten eines Tages durch weitere Entdeckungen behoben zu sehen.

Wir müssen unsere Aufmerksamkeit jetzt dem Atomkern zuwenden, dem neuen und verhältnismäßig unerforschten Gebiet. Bei einer Erörterung über den Bau des Atoms vor zehn Jahren war ich voreilig genug, in Beantwortung einer gestellten Frage zu sagen, das Problem der Kernstruktur könnte der nächsten Generation überlassen werden. Damals schien es wenige einleuchtende Methoden zu geben, die Licht über seine Konstitution verbreiten konnten. Es sind zwar viel größere Fortschritte gemacht worden, als damals möglich schien, aber das Problem der Kernstruktur ist der Natur der Sache nach schwieriger als das Problem des äußeren Atombaues, denn für das zweite haben wir eine Fülle von Informationsmaterial zur Prüfung der Theorie durch das Studium der optischen und der Röntgenspektren und durch das Studium der chemischen Eigenschaften.

Wir kennen die durch *Moseleys* Gesetz festgelegte Ladung des Kernes und seine Masse, die nahezu gleich der des ganzen Atomes ist, da die Masse der planetarischen Elektronen verhältnismäßig sehr klein ist und meist vernachlässigt werden kann. Wir wissen, der Kern ist im Vergleich mit dem ganzen Atom überaus klein, und wir können für seine Größe eine einigermaßen zuverlässige obere Grenze angeben. Das Studium der radioaktiven Körper hat uns Aufschlüsse über den Bau des Kernes verschafft, denn wir wissen, daß die α- und β-Teilchen aus ihm ausgetrieben werden müssen, und vieles spricht dafür, daß die sehr durchdringenden γ-Strahlen Schwingungsformen der in ihm enthaltenen Elektronen darstellen. In der langen Reihe von Umwandlungen des Uraniumatoms werden acht α-Teilchen und sechs Elektronen ausgesendet, und es scheint klar, daß der Kern eines schweren Atomes wenigstens zum Teil aus Heliumkernen und Elektronen aufgebaut ist. Natürlich nimmt man an, daß viele der gewöhnlichen stabilen Atome ähnlich beschaffen sind. Wohlgemerkt, es liegt kein Anzeichen dafür vor, daß bei diesen tiefgehenden Transformationen der leichteste Kern, der Wasserstoffkern, in Freiheit gesetzt worden ist. Und doch ist sicher, daß der Wasserstoffkern eine Baueinheit im Aufbau einiger Atome ist. Der direkte Versuch hat das bestätigt. Dr. *Chadwick* und ich haben beobachtet, daß aus den Elementen Bor, Stickstoff, Fluor, Natrium, Aluminium und Phosphor Wasserstoffkerne mit großer Geschwindigkeit austreten, wenn man die Elemente mit schnellen α-Teilchen bombardiert, und es ist wenig zweifelhaft, daß diese Wasserstoffkerne einen wesentlichen Teil der Kernstruktur ausmachen. Die Austreibungsgeschwindigkeit dieser Kerne hängt von der Geschwindigkeit des α-Teilchens und von dem bombardierten Element ab. Die Wasserstoffkerne werden nach allen Richtungen in Freiheit gesetzt, aber ihre Geschwindigkeit ist in der Richtung rückwärts immer etwas kleiner als in der Richtung des α-Teilchens. Das erklärt sich durch die Annahme, daß die Wasserstoffkerne nicht in den Hauptkern eingebaut sind, sondern sich wahrscheinlich als Trabanten um einen zentralen Kern bewegen. Zweifellos hat das α-Teilchen-Bombardement die Kerne dieser Elementengruppe tatsächlich zerlegt. Bemerkenswert ist daher, daß die Wasserstoffkerne nur aus Elementen mit ungerader Atomzahl herausgetrieben werden, nämlich aus den Elementen mit den Atomnummern 5,

7, 9, 11, 13, 15. Die Elemente mit gerader Atomnummer scheinen ganz unberührt zu bleiben. Damit der Stoß eines α-Teilchens wirksam sei, muß es entweder dicht an dem Kern vorbeigehen oder wirklich in ihn eindringen. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist minimal wegen der Winzigkeit des Kernes. Obwohl jedes einzelne α-Teilchen auf seinem Wege durch mehr als 100 000 Aluminiumatome hindurchgeht, kommt nur ein α-Teilchen in einer Million dicht genug an den Kern, um einen Wasserstofftrabanten frei zu machen.

Diese künstliche Zerlegung von Elementen durch α-Teilchen geht nur in kleinem Maßstabe vor sich und ihre Beobachtung ist nur durch Zählung von einzelnen sehr geschwinden Wasserstoffkernen möglich geworden mittels der Lichtblitze, die sie im Zinksulfid hervorrufen.

Diese Versuche lassen vermuten, daß der Wasserstoffkern — oder: das Proton — zu den grundlegenden Baueinheiten des Kernes gehört, und höchstwahrscheinlich ist der Heliumkern eine sekundäre Baueinheit, die aus der sehr engen Verbindung von 4 Protonen und 2 Elektronen besteht. Die Ansicht, daß sich die Kerne aller Atome schließlich aus Protonen von der Masse, die angenähert eins ist, und aus Elektronen aufbauen, ist durch das Studium der Isotope stark unterstützt und erweitert worden. Man hatte frühzeitig beobachtet, daß einige Elemente mit deutlich verschiedenen radioaktiven Eigenschaften chemisch einander so gleich waren, daß es unmöglich war, sie voneinander zu trennen, wenn sie gemischt auftraten. Solche Elemente nannte *Soddy* Isotope, weil sie offenbar dieselbe Stelle im periodischen System einnahmen. Eine Anzahl radioaktiver Elemente in der Uranium- und Thoriumreihe z. B. haben physikalische und chemische Eigenschaften, die mit denen des gewöhnlichen Bleies übereinstimmen, aber Atomgewichte, die sich von dem des gewöhnlichen Bleies unterscheiden, und zeigen auch ausgesprochen radioaktive Eigenschaften. Die Kerntheorie des Atoms liefert eine einfache Deutung der Beziehung zwischen isotopen Elementen. Da die chemischen Eigenschaften eines Elementes von seiner Kernladung bestimmt und von seiner Masse wenig beeinflußt werden, müssen Isotope Atomen mit derselben Kernladung, aber von verschiedener Kernmasse entsprechen. Eine solche Anschauung erklärt auch, warum die radioaktiven Isotope verschiedene radioaktive Eigenschaften zeigen: es ist von vornherein anzunehmen, daß die Stabilität eines Kernes durch seine Masse und seine Anordnung stark beeinflußt sein wird.

In den letzten Jahren hat *Aston* unsere Kenntnis der Isotope wesentlich erweitert durch eine sehr genaue Methode, die Isotope in den gewöhnlichen Elementen unmittelbar nachzuweisen. Er hat gefunden, daß einige Elemente „rein" sind, d. h. aus Atomen von genau gleichartiger Masse bestehen, während andere ein Gemisch aus zwei oder mehr Isotopen enthalten. In den isotopen Elementen ist die Atommasse, wie sie der Chemiker gewöhnlich mißt, ein Mittelwert, der von den Atommassen der einzelnen Isotopen und ihrer relativen Menge abhängt. Diese Untersuchungen zeigen, daß es sehr viel mehr unterschiedliche Atomarten gibt, als man vermutete. Sie haben aber auch eine Beziehung zwischen den Elementen aufgedeckt, die von größter Wichtigkeit ist: Die Atommassen der Isotope der meisten Elemente haben sich, auf Sauerstoff (O = 16) als Einheit bezogen, mit einer Genauigkeit von ungefähr 1 auf 1000 als ganze Zahlen herausgestellt. Das weist darauf hin, daß die Kerne schließlich aus Protonen nahezu von der Masse 1 und aus Elektronen aufgebaut sind. Die Annahme legt nahe, daß der Wasserstoffkern diese Baueinheit ist, aber daß seine Masse in dem komplexen Kerne durchschnittlich etwas kleiner ist als seine Masse im freien Zustande dank der engen Packung der geladenen Einheiten in der Kernstruktur. Wir haben schon gesehen, daß der Heliumkern mit der Masse 4 wahrscheinlich eine sekundäre Einheit im Aufbau vieler Atome ist, und vielleicht kommen noch andere einfache Kombinationen von Protonen und Elektronen der Masse 2 und 3 in dem Kerne vor, aber in freiem Zustande sind diese bisher nicht beobachtet worden.

In der Mehrzahl der Isotope ist die Masse ganzzahlig, aber *Aston* hat verschiedene Fälle beobachtet, wo diese Regel nicht ganz erfüllt ist. Solche Abweichungen können schließlich sehr wichtig sein, weil sie auf die Anordnung und die Enge der Packung von Protonen und Elektronen schließen lassen, und deswegen wäre es erwünscht, die Atommassen der Elemente bald mit viel größerer Genauigkeit als bisher vergleichen zu können.

Während wir darauf vertrauen dürfen, daß das Proton und das Elektron beim Aufbau aller Kerne die letzten Einheiten sind, und wir mit einiger Sicherheit die Anzahl von Protonen und Elektronen in den Kernen aller Atome ableiten können, haben wir nur geringe, wenn überhaupt irgendwelche Kenntnis von der Verteilung dieser Einheiten in dem Atom oder von der Natur der Kräfte, die sie im Gleichgewicht halten. Während es bekannt ist, daß das Gesetz des umgekehrten Quadrates für die elektrischen Kräfte in einigem Abstand von dem Kerne gilt, scheint es sicher, daß das Gesetz innerhalb des Kerns nicht zutrifft. Gewisse Einzelheiten beim Zusammenstoße zwischen α-Teilchen und Wasserstoffatomen, wo die Kerne sehr dicht aneinander herankommen, zeigen, daß die zwischen den Kernen wirkenden Kräfte schließlich sehr viel rascher wachsen, als nach dem Gesetze vom umgekehrten Quadrat zu erwarten ist, und es kann sein, daß bei den sehr kleinen Abständen zwischen Protonen und Elektronen im Kern neue und unerwartete Kräfte zu Bedeutung gelangen. Bis wir Genaueres wissen von der Natur der Kräfte im Innern des Kernes und von dem Gesetz ihrer Zu- und Abnahme, wird

es schwer sein, in der Kenntnis des Kernaufbaues noch weiter zu kommen. Aber andeuten lassen sich gewisse Richtungen, von denen her ein Angriff auf dieses schwierigste aller Probleme einige Aussicht auf Erfolg hat: Ein genaueres Studium der γ-Strahlen aus radioaktiven Körpern gibt vielleicht Aufschluß über die Bewegung der Elektronen im Kerne und möglicherweise herrschen, wie *Ellis* angedeutet hat, Quantengesetze im Innern des Kernes wie draußen. Aus den relativen Mengenverhältnissen der Elemente in der Erdrinde hat *Harkins* geschlossen, daß Elemente von gerader Atomnummer viel reichlicher vorkommen als Elemente von ungerader — ein Hinweis auf einen deutlichen Unterschied in der Stabilität der beiden Gruppen von Elementen. Jeder Prozeß einer Sternentwicklung ist wahrscheinlich mit dem Aufbau von komplexen Kernen aus einfacheren eng verbunden und sein Studium daher vielleicht imstande, Licht über die Entwicklung der Elemente zu verbreiten.

Der Kern eines schweren Atoms ist zweifellos ein sehr verwickeltes Gebilde, in gewissem Sinne eine Welt für sich, und nur wenig, wenn überhaupt, den gewöhnlichen physikalischen und chemischen Angriffsmitteln zugänglich. Vergegenwärtigen wir uns die Masse eines Kernes im Verhältnis zu seinem Volumen, so scheint seine Dichte viele Billionen mal so groß zu sein wie die unseres schwersten Elementes. Könnten wir aber ein Bild dieses Kernes in ausreichender Vergrößerung herstellen, so würde er wahrscheinlich einen diskontinuierlichen Aufbau zeigen, der eingenommen — nicht ausgefüllt — wird von den winzigen Baueinheiten, den Protonen und Elektronen, die sich in rastloser rapider Bewegung befinden und von den wechselseitig zwischen ihnen wirkenden Kräften beherrscht werden.

Bevor wir den Gegenstand verlassen, müssen wir einige Worte über die — beim Studium der Radioaktivität zuerst aufgeworfene — Frage der Energiebeziehungen sagen, die bei der Bildung und der Zerlegung von Atomkernen mitspielen. Die bei der vollkommenen Zerlegung von 1 g Radium insgesamt entwickelte Energie ist viele Millionen mal größer als die bei der vollständigen Verbrennung eines gleichen Gewichts Kohle entwickelte. Diese Energie wird ursprünglich größtenteils in kinetischer Form von schnellen α- und β-Teilchen ausgesendet, und die kinetische Energie dieser Teilchen am Ende, wenn sie durch Masse gebremst werden, in Wärme verwandelt. Da man glaubt, daß die radioaktiven Elemente den gewöhnlichen inaktiven Elementen analog aufgebaut sind, so lag der Gedanke nahe, die Atome aller Elemente enthielten eine ähnliche Konzentration von Energie, deren man habhaft werden würde, wenn man nur eine einfache Methode entdeckt hätte, ihre Zerlegung zu befördern und zu beherrschen. Die Möglichkeit, neuer und billiger Energiequellen für den praktischen Gebrauch habhaft zu werden, war natürlich verlockend für Gelehrte wie für Laien. Es ist schon wahr, daß, wenn wir die radioaktiven Vorgänge im Uran und im Thor beschleunigen könnten, so daß sich die ganze Zerlegung in wenigen Tagen abspielen würde anstatt in Tausenden von Jahrmillionen, diese Elemente sehr bequeme Energiequellen von beträchtlicher praktischer Wichtigkeit sein würden. Leider haben wir trotz vieler Versuche nach dieser Richtung hin keinerlei Aussicht, die Zerlegungsgeschwindigkeit dieser Elemente selbst durch die stärksten Laboratoriumsmittel auch nur im entferntesten zu ändern. Mit der Zunahme unserer Kenntnis des Atombaues hat sich unser Standpunkt dieser wichtigen Frage gegenüber allmählich verändert, und heutzutage ist man keineswegs so sicher wie vor einem Jahrzehnt, daß die Atome eines Elementes verborgene Energievorräte enthalten. Es lohnt sich wohl, den Grund für diesen Anschauungswechsel zu erörtern; am besten durch eine interessante Analogie zwischen der Umwandlung eines radioaktiven Kernes und den Veränderungen in der Elektronenanordnung eines gewöhnlichen Atoms. Wir wissen jetzt recht gut: man kann durch ein Elektronenbombardement oder durch geeignete Strahlung ein Atom derartig anregen, daß eines seiner Oberflächenelektronen von seiner gewöhnlichen stabilen Lage weg in eine andere vorübergehend stabile Lage, die sich weiter weg vom Kern befindet, versetzt wird. Dieses Elektron fällt im Laufe der Zeit wieder in seine alte Lage zurück und während dieses Vorganges wird seine potentielle Energie in Strahlung verwandelt. Wir haben Grund zu der Annahme, daß das Elektron in der neuen Lage eine bestimmte mittlere Lebensdauer hat und daß die Aussicht auf seine Rückkehr in die erste Lage von den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit abhängt. In gewisser Hinsicht ist ein „angeregtes" Atom also einem radioaktiven Atom analog, aber natürlich ist die bei der Zerlegung eines Kernes entbundene Energie von ganz anderer Größenordnung als die in dem angeregten Atom durch die Rückkehr des Elektrons ausgelöste. Vielleicht sind Uran und Thor die letzten Überlebenden eines Typus von Elementen, die in längst vergangenen Zeiten zu den weit verbreiteten auf der Erde gehörten, als die Atome, aus denen die Erde jetzt besteht, in der Bildung begriffen waren. Ein Bruchteil der Atome des Uran und Thor, die damals gebildet wurden, hat den langen Zwischenraum infolge der Langsamkeit der Umwandlung überlebt. Man kann sich so vorstellen, daß diese Atome die Stufenfolge von Umwandlungen, die die gewöhnlichen Atome seitdem längst durchlaufen haben, noch nicht abgeschlossen haben, und daß die Atome noch in dem „angeregten" Zustande sind, in dem die Kerneinheiten noch nicht die endgültigen Gleichgewichtslagen einnehmen, sondern noch einen Überschuß an Energie haben, der nur in der Form der charakteristischen Strahlung aus der aktiven Materie entbunden werden kann.

Auf Grund dieser Vorstellung ist die Anwesenheit eines zur Entbindung fertigen Energievorrates nicht eine Eigenschaft aller Atome, sondern nur einer besonderen Klasse von Atomen, wie den radioaktiven, die den endgültigen Gleichgewichtszustand noch nicht erreicht haben.

Man kann einwenden: Die künstliche Zertrümmerung gewisser Elemente durch Bombardement mit schnellen α-Teilchen gibt einen bestimmten Anhalt für einen Energievorrat in gewissen gewöhnlichen Elementen, denn es ist bekannt, daß einige der Wasserstoffkerne, z. B. die aus Aluminium in Freiheit gesetzten, mit so großer Geschwindigkeit herausschießen, daß das Teilchen eine größere Eigenenergie hat als das auslösende α-Teilchen. Leider ist es sehr schwer, darauf eine endgültige Antwort zu geben, ehe wir mehr von den Einzelheiten der Zertrümmerung wissen.

Während der letzten Jahre ist ein anderes Verfahren zum Angriff dieser Frage wichtig geworden, das auf dem Vergleiche der relativen Massen der Elemente beruht. Wir erläutern den Gedanken am besten durch einen Vergleich der Atommassen des Wasserstoffs und des Heliums. Wir haben gesehen: Helium ist sehr wahrscheinlich keine letzte Einheit in der Kernstruktur, sondern eine sehr enge Verbindung von vier Wasserstoffkernen und zwei Elektronen. Die Masse des Heliumkernes, 4,00 bezogen auf O = 16, ist beträchtlich kleiner als die Masse 4,03 von 4 Wasserstoffkernen. Nach moderner Anschauung sind Masse und Energie eng verknüpft, und dieser Verlust an Masse bei der Bildung des Heliumkernes aus Wasserstoffkernen deutet darauf hin, daß ein großer Energiebetrag in Form von Strahlung beim Aufbau des Heliumkernes aus seinen Komponenten in Freiheit gesetzt worden ist. Es ist leicht, aus diesem Massenverlust zu berechnen, daß die bei der Bildung von 1 g Helium entbundene Energie sogar im Vergleich mit der bei der gesamten Zerlegung von 1 g Radium entbundenen groß ist. Die Rechnung lehrt z. B., daß die bei der Bildung von einem Pfund Heliumgas entbundene Energie äquivalent ist der Energie, die bei der vollkommenen Verbrennung von etwa 8000 Tonnen reiner Kohle ausgesendet wird. *Eddington* und *Perrin* haben die Vermutung ausgesprochen, daß wir hauptsächlich auf diese Energiequelle zu sehen haben, um die Wärmeausstrahlung der Sonne und der heißen Sterne über lange Zeitperioden behaupten zu können. Berechnungen des Wärmeverlustes der Sonne zeigen, daß diese Heliumsynthese nur langsam vor sich zu gehen braucht, um die gegenwärtige Strahlungsgeschwindigkeit auf Tausende von Jahrmillionen zu unterhalten. Freilich sind diese Argumente etwas spekulativen Charakters, denn noch ist kein sicherer experimenteller Nachweis geglückt, daß Helium aus Wasserstoff entstehen kann.

Die Evidenz der Langsamkeit der Sternentwicklung deutet aber mit Sicherheit darauf hin, daß die Heliumsynthese und vielleicht auch die Synthese anderer Elemente von größerem Atomgewicht im Innern heißer Sterne langsam vor sich geht. Während wir in der elektrischen Entladung durch Wasserstoff bei niedrigem Druck die Bedingungen im Innern des heißesten Sternes leicht herstellen können, soweit sie die Bewegungsenergie der Elektronen und der Wasserstoffkerne angehen, können wir doch nicht darauf hoffen, die enorme Strahlungsdichte zu reproduzieren, die im Innern eines Riesensternes herrschen muß. Aus diesen und ähnlichen Gründen kann es sehr schwer, ja sogar unmöglich sein, unter Laboratoriumsbedingungen Helium aus Wasserstoff herzustellen.

Ist die Ansicht über die große Wärmeausstrahlung bei der Heliumbildung richtig, so ist klar, daß der Heliumkern von allen Kernen der stabilste ist, denn um ihn in seine Komponenten zu zerreißen, wäre eine Energie erforderlich, die drei oder vier α-Teilchen entspräche. Überdies — da die Masse des Protons in den Kernen nahezu 1,000 ist anstatt 1,0072, wie im freien Zustande, so muß man viel mehr Energie in das Atom hineinstecken, als es bei seiner Zerlegung in seine letzten Einheiten hergibt. Im Sauerstoffatom dagegen, das wir aus vier Heliumkernen als sekundären Einheiten aufgebaut annehmen können, ändert sich die Masse bei seiner Synthese aus bereits gebildeten Heliumkernen so wenig, daß wir nicht sicher sein können, ob durch die Zerlegung in die Heliumkerne ein Gewinn oder ein Verlust an Energie eintreten wird; aber auf alle Fälle wird die Energie sehr viel kleiner sein als die zur Synthese des Heliums aus Wasserstoff erforderliche. Unsere Kenntnis der Energieänderungen bei dem Aufbau oder bei der Zerlegung von Atomen ist bisher zu problematisch, als daß wir sehr entschiedene Ansichten über die sich hieran knüpfenden zukünftigen Möglichkeiten haben könnten, ich wollte nur einige der Hauptargumente skizzieren, die man berücksichtigen sollte.

Ich muß den — wie ich fürchte — allzu knappen und unvollständigen Bericht über diese große Periode des Fortschritts in der Physik schließen. In der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit ist es unmöglich gewesen, selbst wenn ich über das dazu erforderliche Wissen verfügen würde, die großen Fortschritte zu besprechen, die auf allen Gebieten der reinen und der angewandten Physik während dieser Periode zu verzeichnen sind. Ich weiß sehr wohl, daß in einigen Gebieten der Fortschritt sich mit den hier besprochenen vergleichen kann. Zu dieser großen Bereicherung unseres Wissens über den Bau der Materie haben alle zivilisierten Nationen beigetragen, aber wir können mit Recht stolz darauf sein, daß unser Vaterland viele grundlegende Beiträge geliefert hat und mit unserem Vaterlande zugleich unsere Dominions, sie sind darin nicht zurückgeblieben.

Unser Land hat, glaube ich, Grund, darauf stolz zu sein, daß den Gelehrten unserer Dominions einige der größten fundamentalen Entdeckungen dieser Epoche, namentlich in der Radioaktivität, geglückt sind.

Die Hochflut des Fortschrittes war seit 1896 eine kontinuierliche, aber während des Krieges ebbte sie naturgemäß ab. Es ist von guter Vorbedeutung, daß während der letzten Jahre das alte Tempo des Fortschrittes nicht nur wieder erreicht ist, sondern sogar noch zugenommen hat, und nichts läßt darauf schließen, daß die Periode der großen Fortschritte zu Ende ist. Nie war der Enthusiasmus der Gelehrten größer, und nie war die Erwartung großer unmittelbar bevorstehender Fortschritte hoffnungsvoller. Dieses Gefühl ist zweifellos zum Teil den großen Verbesserungen der technischen Verfahren während dieser Epoche zu danken, denn Probleme, die zu Zeiten unangreifbar schienen, scheinen jetzt den neuen Methoden weichen zu müssen. Im großen und ganzen war dieses Zeitalter, das wir hier betrachten, eine Periode des Experiments, wo der Experimentator der Pfadfinder beim Angriff auf neue Probleme gewesen ist. Aber gleichzeitig war es auch ein Zeitalter kühner theoretischer Gedanken, wie die Quantentheorie und die Relativitätstheorie so deutlich zeigen.

Ich empfinde es als großes Vorrecht, diese Periode, die man fast die Renaissance der Physik nennen kann, miterlebt zu haben. Es war von ungewöhnlichem intellektuellem Interesse, die neuen Ideen sich allmählich entwickeln zu sehen und die immer wechselnden Methoden zur Bewältigung der Probleme zu verfolgen. Und von großem Interesse war es, die verhältnismäßige Einfachheit der Gedanken zu bemerken, die schließlich aufgetaucht sind. Niemand hätte z. B. voraussagen können, daß die allgemeine Beziehung zwischen den Elementen einen so einfachen Charakter haben würde, wie wir ihn jetzt zu erkennen glauben. Die Natur scheint einfach zu arbeiten, und je fundamentaler das Problem oft ist, desto einfacher sind die Begriffsbildungen, die zu ihrer Erklärung notwendig sind. Die Geschwindigkeit und die Sicherheit des Fortschrittes in dieser Zeit beruhen weitgehend darauf, daß es möglich war, Versuche mit nur wenigen Variabeln zu ersinnen. So ist z. B. das Studium des Atombaues durch die Möglichkeit begünstigt worden, die Wirkungen zu untersuchen, die von einem einzelnen Atom ausgehen, oder, wie z. B. in der Radioaktivität oder bei den Röntgenstrahlen, Vorgänge zu studieren, die sich in dem einzelnen Atom abspielen, aber durch äußere Bedingungen überhaupt nicht beeinflußt werden.

Bedenkt man die Schnelligkeit des Fortschrittes in der Physik, so empfindet man immer stärker, was für eine Macht die wissenschaftliche Methode ist, die unsere Kenntnis von der Natur erweitert. Das Experiment, das von der in Zucht gehaltenen Phantasie eines einzelnen — oder noch besser: einer Gruppe von zusammen Arbeitenden von verschiedenartigem geistigen Habitus — geleitet wird, ist imstande, Ergebnisse zu zeitigen, die lediglich die Phantasie des größten Naturforschers weit übersteigen. Das Experiment ohne die Phantasie oder die Phantasie ohne Rückhalt am Experiment kann nur wenig leisten, der wirksame Fortschritt setzt die glückliche Legierung beider Kräfte voraus. Das Unbekannte erscheint vor den Augen des Menschen wie ein dichter Nebel. Um in das Dunkel einzudringen, können wir nicht die Hilfe von Übermenschen anrufen, sondern wir müssen uns auf die vereinigten Anstrengungen einer Anzahl von angemessen geschulten gewöhnlichen Menschen mit wissenschaftlicher Phantasie stützen. Jeder einzelne ist kraft des wissenschaftlichen Verfahrens in seinem eigenen Arbeitsgebiet imstande, eine kurze Strecke vorzudringen, und seine Arbeit wirkt zurück auf die Gesamtheit seiner Mitarbeiter. Von Zeit zu Zeit erhebt sich ein erleuchtender Gedanke, der sich auf zusammengetragenem Wissen aufbaut und der ein großes Gebiet erhellt und die Verbindung zwischen den vereinigten Anstrengungen zeigt, so daß ein allgemeiner Fortschritt erfolgt. Der Angriff setzt auf einer breiteren Front aufs neue ein und oft mit verbesserten technischen Waffen. Der Gedanke, der zu diesem Fortschritt führte, erscheint oft einfach und selbstverständlich, wenn er einmal geäußert ist. Das ist eine gewöhnliche Erfahrung, und der wissenschaftlich Geschulte empfindet oft ein Gefühl der Enttäuschung, daß er nicht selber eine Entwicklung vorausgesehen hat, die am Ende so klar und zwingend erscheint.

Das intellektuelle Interesse, das der rapiden Zunahme des Wissens heutzutage zu verdanken ist, wirkt selbstverständlich als ein Anreiz auf junge Leute, sich der wissenschaftlichen Forschung zu widmen. Auf jedem Gebiete der Wissenschaft gibt es zahlreiche Probleme von grundlegenden Wichtigkeit, die der Lösung harren. Wir können zuversichtlich einen beschleunigten Fortschritt der wissenschaftlichen Entdeckung voraussagen, der der Menschheit sicherlich in materieller Hinsicht, möglicherweise aber noch mehr in intellektueller zum Segen gereichen wird. Um die besten Ergebnisse zu erzielen, müssen freilich gewisse Bedingungen erfüllt sein. Unsere Universitäten und sonstigen wissenschaftlichen Institute müssen in liberaler Weise unterstützt werden, um nicht nur befähigte junge Forscher zu schulen, sondern auch als Forschungsstätten zu dienen. Aber auch eine vernünftige Einflußsphäre muß für diejenigen vorhanden sein, die ihre Fähigkeit zu eigener Forschung an den Tag gelegt haben und — nicht zuletzt — muß in der ganzen zivilisierten Welt Frieden herrschen, damit eine rasche wissenschaftliche Entwicklung und ein allgemeiner materieller Wohlstand möglich sei. Die Wissenschaft ist eben

wirklich international und für den Fortschritt ist die Zusammenarbeit der Nationen ebenso wichtig wie die Zusammenarbeit der einzelnen. Die Wissenschaft verlangt nicht weniger als die Industrie eine Stabilität, die in der Welt bisher nicht erreicht ist.

Ein viel zu weit verbreiteter Irrtum ist heutzutage der, daß die Wissenschaft durch die Zerstörung älterer wohl begründeter Theorien fortschreitet. Das ist sehr selten der Fall. Es wird z. B. oft behauptet, daß *Einsteins* Relativitätstheorie *Newtons* Arbeit über die Gravitation umgestürzt hat. Nichts kann von der Wahrheit weiter entfernt sein. Ihre Arbeiten sind tatsächlich schwer miteinander vergleichbar, denn sie behandeln verschiedene Gedankengebiete. Soweit *Einsteins* Arbeit auf *Newtons* Bezug hat, ist sie einfach eine Verallgemeinerung und eine Verbreiterung ihrer Grundlage, tatsächlich ein typischer Fall für die Entwicklung der Mathematik und der Physik. Im allgemeinen wird ein großes Prinzip nicht abgetan, sondern so umgewandelt, daß es auf einer breiteren und standfesteren Grundlage ruht.

Selbstverständlich verdankt die glänzende Periode wissenschaftlicher Tätigkeit, die wir heute abend an uns haben vorüberziehen lassen, vieles von ihrem Erfolge und ihrem intellektuellen Ansehen den Arbeiten der großen Männer der Vergangenheit, die in ihrer Weisheit die sicheren Grundlagen geschaffen haben, auf denen der wissenschaftliche Arbeiter heute weiter baut, oder, um die Worte zu zitieren, die in der Kuppel der National Gallery zu lesen sind: Die Werke derer, die die Prüfung der Zeiten bestanden haben, haben ein Anrecht auf jene Achtung und Verehrung, die kein Moderner beanspruchen kann.

Weitere Entdeckungen von Resten des riesenhaften Rhinocerotiden Baluchitherium im Tertiär Innerasiens.

Von Othenio Abel, Wien.

Seit der ersten Mitteilung über die Entdeckung eines riesigen, bisher unbekannt gewesenen Säugetiers im unteren Miozän Asiens (Die Naturwissenschaften 11, 284, 1923) ist eine Reihe weiterer Veröffentlichungen über neue Funde von Resten dieses überaus merkwürdigen fossilen Säugetieres erschienen, die uns gestatten, nunmehr ein klareres Bild von der Organisation und der verwandschaftlichen Stellung desselben zu gewinnen.

Die Fundorte dieses Säugetieres (Fig. 1) liegen:

1. in den Bugti Hills in *Belutschistan*,
2. in der Gegend von Turgai in *Nordturkestan*, nördlich vom Aralsee (am Ufer des Flusses Kara-Turgai sowie an den Ufern des Sees Tschalkar-Tenis bei Ak-say, Bicekte, Mine-say und Kuresay),
3. in der *Mongolei* bei Loh (Zentralmongolei) und bei Iren Dabasu (Südostmongolei).

Sowohl in Turkestan wie in der Mongolei sind weitere sehr bedeutungsvolle Funde gemacht worden, unter denen ein Schädel eines Tieres mit einer Länge von 1,286 m als der wichtigste zu bezeichnen ist (Fig. 2).

Hatten schon die letzten Arbeiten von *A. Borissiak* in St. Petersburg (Mémoires de l'Académie des Sciences de Russie, VIII. Série, T. XXXV., No. 6, 1923) sowie die Untersuchungen von Frau Professor *Marie Pavlow* in Moskau (*Indricotherium transouralicum* n. sp. provenant du district de Tourgay. — Bulletin de la Société des Naturalistes de Moscou, Nouvelle Série, T. XXXI., Année 1922, pag. 95) die Gewißheit darüber gebracht, daß das neue Riesentier in die Familie der Rhinocerotiden eingereiht werden müsse, so ist durch den Fund des Schädels von *Baluchitherium Grangeri* Osborn (1923) am 5. August 1922 bei Loh im Becken von Tsagan Nor durch die dritte Asiatische Expedition des American Museum of Natural History in New York unter der Leitung von *Roy Chapman Andrews*, der der Paläontologe *Walter Granger* angehörte, unsere Kenntnis von diesen ausgestorbenen Riesennashörnern sehr wesentlich erweitert und gefestigt worden.

Die ersten Funde von *Baluchitherium* in den Bugti Hills durch *Clive Forster Cooper*, jetzt Superintendent des Zoologischen Museums in Cambridge, im Jahre 1911 hatten gezeigt, daß es sich um einen Vertreter der Unpaarhufer handeln müsse, von dem es jedoch einstweilen nicht sicher war, ob er in die Familie der Rhinocerotiden selbst oder in eine diesem nahestehende und bisher unbekannt gewesene Familie einzureihen sei. Die ersten Funde von Zähnen in der Provinz Turgai in Nordturkestan veranlaßten *A. Borissiak*, der eine Anzahl von Abhandlungen über die Reste aus dem Tertiär Turkestans in den Jahren 1915 bis 1923 veröffentlichte, das von ihm unter dem Namen *Indricotherium asiaticum* Bor. (1916) unterschiedene Säugetier den Rhinocerotiden anzuschließen, und da der Bau der Backenzähne in auffallender Weise mit dem eines kleinen Nashornes übereinstimmte, das ich 1910 als *Epiaceratherium bolcense* aus dem Oligozän Oberitaliens beschrieben hatte, vereinigte *Borissiak* 1918 die Reste aus Turkestan mit der Gattung *Epiaceratherium*. Die Funde in der Mongolei zeigten mit voller Klarheit, daß das als *Baluchitherium* zu

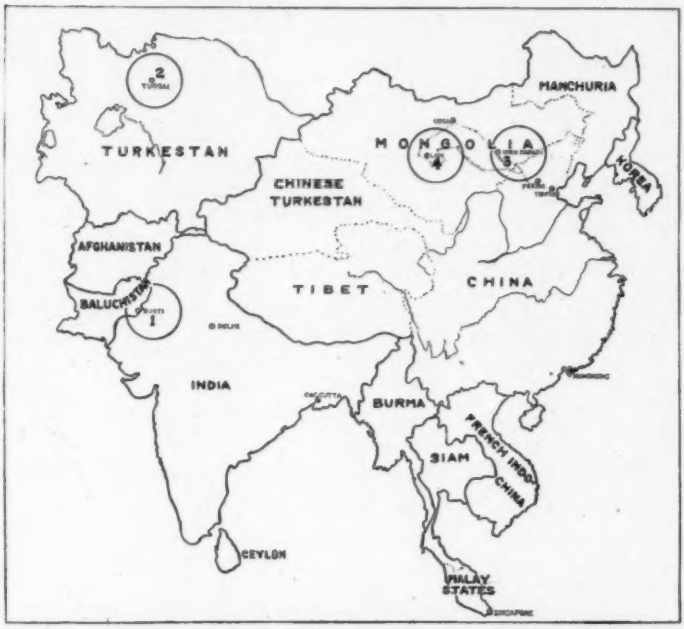

Fig. 1. Verbreitungskarte der bisher bekannten Funde von *Baluchitherium* in Asien. 1. *Baluchitherium Osborni* Forster-Cooper; Bugti, Baluchistan 2. *Indricotherium asiaticum* Borissiak und *I. transouralicum* M Pavlow, Turgai, Turkestan; 3. *Baluchitherium cfr. Grangeri* Osborn, Iren Dabasu, Südostmongolei; 4. *Baluchitherium Grangeri* Osborn (Schädel), Loh, Zentralmongolei. (Nach H. F. Osborn)

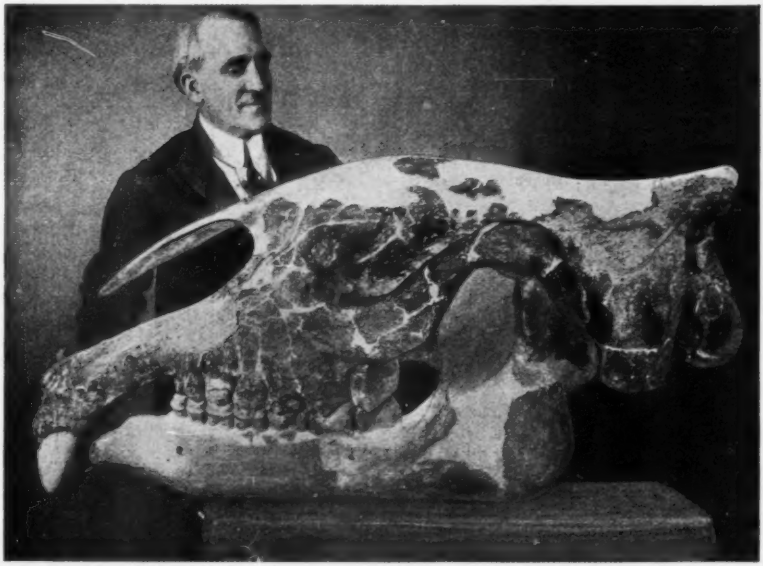

Fig. 2. Restaurierter Schädel von *Baluchitherium Grangeri* Osborn im American Museum of Natural History, New York. Präparation beendet am 1. Mai 1923. (Nach H. F. Osborn.)

benennende Riesentier bestimmt in die Gruppe der Nashörner gehöre und einen auffallend primitiven, in der Tat an oligozäne Nashörner Europas erinnernden Bau der Backenzähne bewahrt hatte, während es in anderen Merkmalen einen eigenen Entwickelungsweg eingeschlagen hatte.

Die Aufsammlung des in 360 Fragmente zerbrochenen Schädels, seine Verpackung und der Transport durch die Mongolei bis Peking unter steter Gefahr vor seiner Verletzung und Zerstörung durch Räuberbanden, der mit der glücklichen Ankunft des kostbaren Stückes im New Yorker Museum am 19. Dezember 1922 sein Ziel erreichte, ist der Erfahrung des ausgezeichneten Paläontologen *Walter Granger* zu danken, nach

Unterkiefer 61,4 cm, also fast so viel, als die Gesamtlänge eines Schädels von *Aceratherium incisivum* erreicht.

Nun ist es auch durch die neuen Funde in Turkestan und in der Mongolei möglich geworden, einen Versuch der Rekonstruktion dieses Tieres zu wagen. Hierbei wurden die von *Baluchitherium Osborni* bekannten und von *C. I. Forster Cooper* beschriebenen Reste des Extremitätenskelettes von *Baluchitherium Osborni* mit den Halswirbeln derselben Art und dem Schädel von *Baluchitherium Grangeri* kombiniert. Nach einem ersten, nicht geglückten Rekonstruktionsversuch konnte *Henry Fairfield Osborn*, Präsident des American Museum of Natural

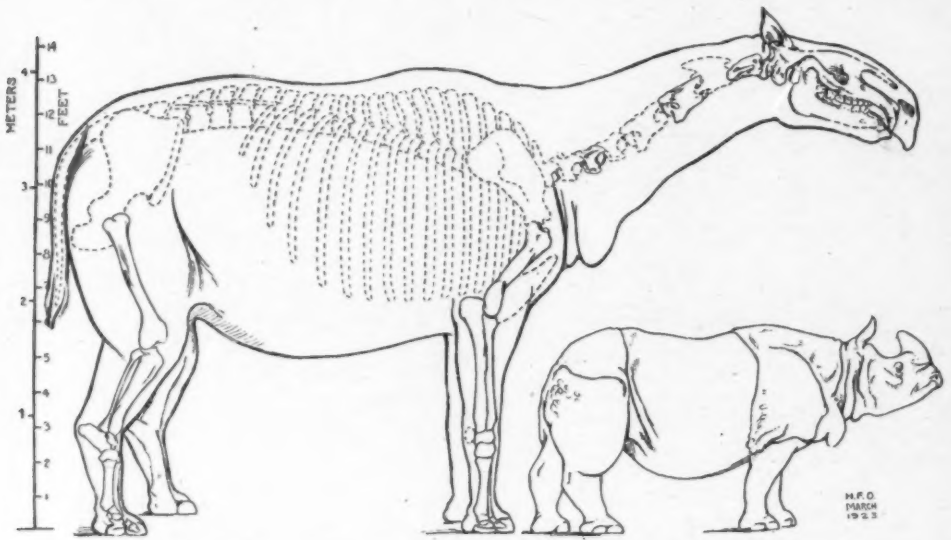

Fig. 3. Rekonstruktion von *Baluchitherium Grangeri* Osborn, kombiniert mit *B. Osborni* Forster-Cooper. Daneben im gleichen Größenverhältnisse die Umrißzeichnung von *Rhinoceros unicornis*. (Nach H. F. Osborn.)

dem *Osborn* die durch den Schädel von Loh vertretene neue Art benannte.

Von den bisher bekannt gewesenen fossilen und rezenten Nashornschädeln unterscheidet sich der neu entdeckte (Fig. 2), abgesehen von seiner enormen Größe, durch die Aufwölbung der Stirnpartie über den Augenhöhlen, die jedoch keine Spuren eines Hornansatzes zeigt. Zu den weiteren Merkmalen des Schädels, die ihn von den übrigen Nashörnern bestimmt unterscheiden, gehören der nach oben in starkem Bogen gekrümmte Verlauf des Jochbogens, der geradezu ungeheuer zu nennende Processus paroccipitalis sowie die riesenhaften Gelenkhöcker des Hinterhauptes, deren abnorm große Entwicklung offenbar mit dem bedeutenden Gewichte des Schädels in Zusammenhang steht. Der Querdurchmesser des Schädels beträgt vor den Gelenkgruben für den

History in New York, einen zweiten unternehmen, der als durchaus gelungen bezeichnet werden darf (Fig. 3).

Osborn stellte in der letzten Rekonstruktion von *Baluchitherium* („Baluchitherium Grangeri, a Giant Hornless Rhinoceros from Mongolia". — American Museum Novitates, No. 78, May 25, 1923. — „The Extinct Giant Rhinoceros Baluchitherium of Western and Central-Asia". — Natural History. New York, No. 3, May—June 1923, pag. 209—228) das indische Nashorn (*Rhinoceros unicornis*) zum Vergleiche neben die Skelettrekonstruktion des fossilen Riesennashorns und aus dieser Nebeneinanderstellung wird die geradezu ungeheure Größe der fossilen Art zur Genüge ersichtlich. Wahrscheinlich ist dieses fossile Nashorn aus dem Tertiär Asiens das größte Säugetier, das bis jetzt überhaupt bekannt geworden

ist. Besonders auffallend erscheint neben den hohen und steilen Metapodien der lange Hals, der im Vergleiche zu den kurzhalsigen Nashörnern der Gegenwart durchaus fremdartig wirkt. Das Tier scheint ein Laubfresser gewesen zu sein und ich möchte es für nicht ausgeschlossen halten, daß es sich in *Sumpfgebieten* aufhielt, worauf ich schon in meiner früheren Mitteilung in dieser Zeitschrift (13. April 1923, S. 285) aufmerksam gemacht habe.

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

Am 13. Oktober 1923 berichtete Professor *H. von Ficker* (Berlin) über seine **Ballonfahrten in den Alpen.** Der Freiballon ist auch heute noch ein vorzügliches Forschungsmittel für meteorologische Sonderuntersuchungen. Besonders im Gebirge, wo die Luftströmungen durch das Relief der Erdoberfläche stark beeinflußt werden, eignet er sich, nach Erreichung des statischen Gleichgewichtszustandes zur Feststellung des Verlaufes der Strömungslinien der Luft. Trotzdem Fahrten in den Alpen von höchstem landschaftlichen Reiz sind und die Landung in den großen Längstälern weniger Gefahren bietet als in der Ebene, hat man die Alpen lange gemieden. Erst der Berufs-Luftschiffer *Spelterini* hat sie absichtlich aufgesucht und sich durch Füllung seines Ballons mit Wasserstoff aus Stahlflaschen von der Existenz der Gasanstalten unabhängig gemacht, so daß er sogar von der Station Eigergletscher der Jungfraubahn aus Aufstiege unternehmen konnte. Diese Methode ist jedoch sehr kostspielig. Erst nach der Begründung des Tiroler Vereins für Luftschiffahrt, der Aufstiege in Innsbruck veranstaltete und sich die Ausbildung einer alpinen Ballonführungstechnik zum Ziel setzte, war die Gelegenheit zu wissenschaftlichen Fahrten in den Alpen gegeben. Als erster Ballonführer des Tiroler Vereins hat der Vortragende mit Unterstützung der Wiener Akademie der Wissenschaften in den Jahren 1912 bis 1913 etwa zwei Dutzend derartige Fahrten ausgeführt. Er schilderte deren wissenschaftliche Ergebnisse an der Hand prächtiger, vom Ballon aus aufgenommener Hochgebirgsphotographien, Fahrtkurven und Diagramme. Der Aufstieg mit dem 2200 cbm großen Ballon „Tirol" ging meist leicht vonstatten, weil in den Tälern, selbst bei starkem Höhenwind, meist nur schwache Luftbewegung herrscht. Es ist daher beträchtlicher Auftrieb nötig, um in die oberen, windbewegten Schichten zu kommen. Die Strömungslinien der Luft verlaufen nicht parallel zur Erdoberfläche, sondern drängen sich über den Gebirgskämmen zusammen, doch zeigte sich, daß diese Störungen meist schon etwa 1000 m über dem Kamm aufhören. Der im statischen Gleichgewicht den Stromlinien folgende Ballon wird beim Emporsteigen an den Kämmen über die statische Gleichgewichtslage hinaufgetrieben, auf der Leeseite dagegen mit dem absteigenden Luftstrom schnell herabfallen. Gelingt es beim Passieren des ersten Gebirgskammes, den Ballon in die aerostatische Gleichgewichtslage zu bringen, so hält er sich beim Übersteigen der folgenden Kämme von selbst in der richtigen Höhe, was die technische Führung der Fahrt sehr vereinfacht.

Es gelang dem Vortragenden, Diskontinuitätsflächen in der Atmosphäre festzustellen, die neuerdings in der meteorologischen Wissenschaft eine so große theoretische und praktische Bedeutung gewonnen haben[1]). Besonders deutlich werden kalte Luftmassen erkennbar, die in den Tälern stagnieren, wenn sie nach oben durch eine zusammenhängende Wolkendecke abgeschlossen werden, über welche die hohen Alpengipfel wie Inseln emporragen. Auch zur Theorie des Föhnwindes lieferten die Aufstiege wichtige Beiträge. Vor Beginn des von Süden her quer zur Talrichtung wehenden Föhns hat die kalte, im Tal stagnierende Luft Gelegenheit, nach dem nördlichen Vorland des Gebirges hinaus abzufließen. Der Föhn kann daher von der Höhe hinab als Ersatzströmung den Luftraum zwischen den Gebirgskämmen erfüllen. Bei Nordwind dagegen haben die Luftmassen des Tales nicht die Möglichkeit, nach Süden hin abzufließen, weil die Kette der Zentralalpen dies verhindert. Der Nordwind steigt daher nicht, wie der Föhn, bis zum Grunde des Tales hinab, sondern er weht in der Höhe der Gebirgskämme über die Talluft hinweg, wobei er von dieser einen Teil mitreißt und daher aspirierend wirkt. Es entwickelt sich dann am Grunde des Tales eine Gegenströmung. Nur bei längerer Dauer des Nordwindes erreichen dessen Stromlinien in kleineren Tälern die Talsohle. Trieb der Ballon nach Südosten über die Zentralalpen, so wurde er nach Passieren derselben heftig hinabgerissen, weil der transportierende Nordwestwind in der Regel als kalter Wind eine absteigende Tendenz hatte, welche den durch das Gebirgsrelief verursachten Fall noch verstärkte. Zu diesen Vertikalbewegungen gesellten sich nun vielfach Wirbelbewegungen und Turbulenzerscheinungen, zu deren Studium sich der Freiballon besser eignet als andere Luftfahrzeuge.

Neben solchen kinematischen Untersuchungen, bei denen der Ballon selbst als Instrument und Indikator für die Stromlinien der Luft diente, wurden natürlich auch Messungen mit Instrumenten vorgenommen.

Der Kernpunkt der Föhntheorie von *Hann* liegt in der Erkenntnis, daß absteigende Luft sich um 1° C für je 100 m Höhendifferenz erwärmt. Diese theoretische Ableitung konnte durch die Beobachtungen im Ballon geprüft und ihre Richtigkeit bestätigt werden. Ein anderes Ergebnis bezieht sich auf den Temperaturunterschied zwischen Bergobservatorium und der freien Atmosphäre. Ein Vergleich der Beobachtungen des 2964 m hoch gelegenen Observatoriums auf der Zugspitze mit den Angaben der Registrierinstrumente, die in München in große Höhen emporgelassen wurden, hatte gezeigt, daß die freie Atmosphäre in gleicher Höhe wärmer ist als die Luft an Berggipfeln. Dieses Resultat, gegen das der Einwand erhoben werden konnte, daß die horizontale Entfernung der Beobachtungsorte zu groß sei, wurde ebenfalls durch die Innsbrucker Ballonaufstiege bestätigt, und der Vortragende betonte, daß eine solche Differenz stets auftreten müsse, wenn überhaupt bewegte Luft vorhanden ist.

Am 27. Oktober 1923 berichtete Dr. *P. T. Hubrecht* (Den Haag) über die **Niederländische Neuguinea-Expedition.** In dem deutschen Teil der Insel, Kaiser-Wilhelm-Land, haben die deutschen Forscher *Finsch, Schrader, Schultze, Stollé, Behrmann, Thurnwald* und *Detzner* nicht nur die Küste, sondern auch große Teile

[1]) Vgl. den Aufsatz von *Erich Kuhlbrodt:* Über die Polarfronttheorie nach *Bjerknes* und die neueren Anschauungen von den atmosphärischen Vorgängen. Die Naturwissenschaften, Berlin 1922, Jahrg. *10*, Heft 21, S. 495—503.

des Binnenlandes erschlossen, was ein wesentlicher Ansporn für die niederländischen Unternehmungen war. Der niederländische Anteil, der die ganze Westhälfte der Insel umfaßt, hat eine merkwürdig gegliederte Form, die in einer vogelkopfähnlichen Halbinsel nach Westen hin ausläuft. Den Rückgrat der Insel bildet ein hohes, die ganze Länge bis zum Südostzipfel durchziehendes Gebirge, das an Ausdehnung den Alpen vergleichbar ist, denn allein der niederländische Anteil hat eine Erstreckung, die etwa derjenigen von Wien nach Lyon gleichkommt. Die Küstenlinie war in rohen Umrissen bereits im Jahre 1600 bekannt und schon 1623 sah man vom Meere aus schneebedeckte Gipfel im Innern, was hier, in 5° Süd, auf beträchtliche Höhen schließen ließ. Aber erst 1910 gelang es Dr. *Lorentz*, diese höchste firnbedeckte Wilhelminaspitze zu erreichen. Der Vortragende kam 1913 von Süden, 1921 von Norden her bis auf den Gipfel des 4700 m hohen Berges, so daß er die ganze Insel durchquert hat. Der durch zahlreiche Lichtbilder erläuterte Vortrag schilderte hauptsächlich die letzte Reise.

Der leichteste Zugang von Norden her erfolgt längs des Mamberamoflusses, der allerdings nahe der Küste ein etwa 1000 m hohes, aus jüngeren Schichten, Sandstein, Mergel und vulkanischen Gesteinen, aufgebautes Gebirge in Stromschnellen durchbricht. An dieser schwer passierbaren Stelle ist der Strom nicht schiffbar, aber weiter oberhalb konnte man Motorboote benutzen, bis zu einer Stelle, an welcher der Fuß des Zentralgebirges nahe an den Fluß heranreicht. Dieser führte stellenweise sehr große Gerölle aus hartem dioritischem Gestein. Als Träger und Bootsleute benutzte die Expedition einmal eingeborene Sträflinge und dann die als Kopfjäger bekannten Dajaks aus Borneo, die im Rudern wie im Schwimmen große Geschicklichkeit bewiesen. Die Eingeborenen tragen Muschelschmuck, der sehr wertvoll ist, eine Muschel = einer Milliarde Papiermark. In der durchbohrten Nasenscheidewand steckt ein Stab, der an Länge die Breite des Kopfes erreichen kann. Diese Papuas besitzen gute geographische Kenntnisse von der näheren Umgebung ihrer Wohnsitze.

Das Vordringen am Nordabhang des Gebirges gestaltete sich ziemlich schwierig, denn das Klima war rauh und die Gegend unbewohnt. In 1400 m Höhe waren die Bäume stark mit Hängemoos bewachsen, das vor Nässe triefte. Später gelangte man wieder in bewohnte Gegenden mit gutem Klima, prachtvollen offenen Tälern und lachenden Auen. In der Nähe der Dörfer waren die Berghänge abgeholzt. Runde Holzhäuser, mit Gras gedeckt, dienten als Wohnung. Sie enthielten nur eine Feuerstelle, aber fast gar kein Hausgerät. Die Gebirgsbewohner tragen ein Netz auf dem Kopf, aber wenig Schmuck. Ihre Waffe sind Pfeil und Bogen, als Schild dient ihnen ein hölzerner, korsettähnlicher Panzer um den Leib. Eine Axt aus sehr hartem Gestein wird über die Schulter getragen. Die Frauen sind mit einem Grasschurz oder einer Art Netzgewand bekleidet. Die ersten Weiber, die man traf, rauchten Zigarren bei der Feldarbeit und zeigten nicht die geringste Furcht beim Nahen der großen Expeditionskarawane.

Die Eingeborenen kennen kein Eisen. Sie leben noch in der Steinzeitperiode. Die Trauer um den Tod eines Familienangehörigen äußert sich darin, daß sie sich anderthalb Glieder eines Fingers abhacken. Aus der Größe der Verstümmelung ihrer Hände läßt sich danach die Zahl der Todesfälle in der Familie ermitteln. Nach dem Tode der Frau trägt der Witwer als Zeichen der Trauer einen Weiberrock. Wohnhütten der Eingeborenen kamen im Gebirge bis 2800 m Höhe vor, während in Java die obere Besiedelungsgrenze in 2600 m liegt.

Das Gebirge besteht hauptsächlich aus Sedimentgesteinen, vorzugsweise Kalkstein und Sandstein. Der Doormanngipfel bildet ein Haufwerk von mächtigen Felsplatten aus Serpentin und Choritschiefer. Die Kompaßnadel wird hier um 30° bis 40° aus der normalen Richtung abgelenkt, was auf die Anwesenheit von Eisenerz schließen läßt. In der Tat fand man Magnetit und Roteisenerz, doch ist die Lagerstätte zu abgelegen, als daß an eine Ausnutzung gedacht werden könnte.

Schließlich erreichte die Expedition den firnbedeckten Gipfel des Wilhelminaberges und machte dabei die Entdeckung, daß der kleine Hängegletscher, der 1913 dort bestand, verschwunden war. Nach Ansicht des Vortragenden ist er bei einem Erdbeben von dem stark geneigten Hang, dem er auflagerte, in die Tiefe gestürzt. Erdbeben sind dort ziemlich häufig, und die Expedition erlebte selbst einen starken Erdstoß.

Am 3. November 1923 sprach Privatdozent Dr. *H. Spethmann* (Bochum) über **das Ruhrgebiet,** von dem man im übrigen Deutschland vielfach eine so ungenügende Kenntnis hat, daß selbst manche Geographen nicht wissen, wo die neu entstandenen, jetzt mehr als 100 000 Einwohner zählenden Großstädte Hamborn und Buer und andere wichtige, im Kurszettel regelmäßig angeführte Orte, wie Harpen, gelegen sind. Die Basis des Gebietes ist die Kohle. Die Ruhrkohlenformation erstreckt sich vom Sauerlande nordwärts, allmählich immer tiefer unter die Kreideschichten des Beckens von Münster hinabsinkend. Daher werden auch diese tieferen Vorkommen in dem Maße in Abbau genommen, in dem sich im eigentlichen Kohlenrevier die Gruben zu erschöpfen beginnen. Am Nordrand der zutage getretenen Kohlenformation zwischen Ruhr und Emscher zieht sich eine lange Reihe rauchgeschwärzter Siedelungen hin. Selbst die Atmosphäre ist mit Kohlenstaub geschwängert, und die Sonne scheint nur fahl durch den Dunst. Das ganze Gebiet ist von Schächten und Stollen unterminiert, die sogar unter den Rhein hindurch bis auf dessen linkes Ufer reichen. Nach Norden zu ändert sich die Zusammensetzung der Kohle. Zu oberst liegt bei Bochum eine magere, anthrazitartige Kohle, darunter eine Fettkohle, die besonders geeignet für die Kokserzeugung ist. Dann folgt Gaskohle, die zur Leuchtgasbereitung dient, und schließlich die Gasflammkohle, ein langflammiges Brennmaterial, die hauptsächlich für Industriezwecke zur Verwendung kommt.

Durch die von feindlicher Seite erfolgte Ruhrbesetzung ist dieses kohlenreichste Gebiet Europas zum kohlenärmsten geworden. Ausländische, namentlich englische Kohle mußte gekauft und in Wagen auf der Landstraße über Essen eingeführt werden, vorbei an Bergen von geförderter, aber von den Franzosen beschlagnahmter Kohle. Über die Menge der im Boden liegenden Kohlenschätze liegt eine Berechnung der Bergschule in Bochum vor. Man muß drei Zonen des Vorkommens unterscheiden: 1. Im Süden die durch Schachtanlagen aufgeschlossene Zone, die bis zur Emscher reicht; 2. die Zone, in der durch Bohrungen Kohle nachgewiesen ist; sie reicht nordwärts bis zur Lippe; 3. unaufgeschlossene Vorkommen im Norden. Alles in allem sind 94 abbauwürdige Flöze nachgewiesen, die zusammen eine Dicke von 79 m haben.

Legt man die Förderung des Jahres 1913 zugrunde, so würde dieser Kohlenvorrat noch 600 bis 800 Jahre ausreichen.

Die Kohle bildet das Ausgangsprodukt für eine ganze Reihe anderer Industriezweige, in erster Linie der Hüttenindustrie, die man mit der Kohlenindustrie selbst unter der Bezeichnung Schwerindustrie zusammenfaßt. Dazu kommen elektrische Kraftwerke, Gaswerke, Fabriken von Benzol, Ammoniakdünger, Farben, Süßstoff, Heilmittel verschiedenster Art, Sprengstoffe usw.

Die natürlichen Verkehrswege weisen eine ausgesprochene Ost-West-Tendenz auf, auch die Flüsse des Ruhrgebiets, die sämtlich dem Rhein zuströmen, der zahlreiche Industrieprodukte ansaugt. Die Ruhr, der südlichste Fluß, der stellenweise auch die Südgrenze des Gebietes bildet, läßt sich im Sommer fast durchwaten, während sie im Winter bei Schneeschmelze ein reißender Strom ist. Durch Talsperren, insbesonders die große Möhne-Talsperre, ist der Wasserhaushalt jetzt reguliert, so daß dreizehn große Wasserwerke an der Ruhr in Tätigkeit sind.

Der Hauptfluß des Ruhrgebiets aber ist die Emscher, deren Wasserscheide weit im Süden, nahe an der Ruhr liegt. Essen, für welches die Postbehörde die Bezeichnung „Essen (Ruhr)" vorschreibt, liegt nicht an der Ruhr, nicht einmal im Einzugsgebiet der Ruhr, sondern in dem der Emscher. Deren Wasservorrat reicht nicht entfernt hin, um das Bedürfnis zu decken, so daß große Pumpwerke im Gange sind, die ständig Ruhrwasser zum Emschergebiet hinüberpumpen, zeitweilig über die Hälfte der Wassermenge. Die Emscher dürfte der einzige größere Fluß in Europa sein, der als solcher verschwunden und zum Abwässerkanal geworden ist, sehr zum sanitären Vorteil der Anlieger. Die Regulierung erfolgte in den Jahren 1906 bis 1913, und jetzt fließen die salzhaltigen Grubenwässer, die Spülwässer der Kokereien, die Jauche der Ammoniakfabriken und andere übelriechende Abwässer durch den Emscherkanal dem Rheine zu. Der nördlichste Fluß des Gebietes, die Lippe, ist ebenfalls schon durch Gruben- und Salinenbetrieb stark versalzen.

Zu diesen natürlichen Verkehrswegen gesellen sich als künstliche die Eisenbahnen und die Kanäle. Parallel der Emscher läuft der Rhein-Herne-Kanal, an dem die Zechen ihre eigenen Häfen und große Kohlenumschlagplätze haben. Den Verkehr nach Emden vermittelt der Dortmund-Ems-Kanal, durch den die Nordseehäfen mit Kohle versorgt werden, während auf diesem Wege Grubenholz und Getreide ins Ruhrgebiet eingeführt wird. Nach Osten reicht das Anfangsstück des Mittellandkanals leider nur bis Hannover. Die Unterlassung des Weiterbaues stellt eine unbegreifliche Unterlassungssünde dar, durch die das Ruhrgebiet schwer geschädigt wurde. Der Hansakanal, dessen Linienführung südlich an Bremen vorbei bis nach Hamburg geplant war, wird sich wahrscheinlich in absehbarer Zeit nicht verwirklichen lassen. In keinem anderen Teile Deutschlands findet sich ein so engmaschiges Eisenbahnnetz. Zwischen Bochum und Essen bestehen z. B. drei Doppelgeleise mit Schnellzugsverkehr. Jede Zeche besitzt ihren eigenen Bahnanschluß. Die Eisenbahn bildet das Uhrwerk der Industrie, ohne das sie nicht leben kann, und der Eingriff von feindlicher Seite in diesen feinfühligen Mechanismus hat daher zerstörende Wirkungen ausgelöst und nicht wieder gut zu machenden Schaden angerichtet.

Die Gesamtheit der Bevölkerung bildet eine einheitliche Volksschicht, die sich sowohl von dem leichtlebigen Kölner wie von dem schwerblütigen Westfalen unterscheidet. Das Gebiet war schon zur Römerzeit besiedelt, wie mancher altrömische Stadtkern beweist. Entsprechend der allmählichen Verlegung der Bergbauzone nach Norden schreitet auch die Städteentwicklung nordwärts fort. Von den übrigen Siedelungen Europas unterscheidet sich die Ruhrsiedelung durch die merkwürdige Tatsache, daß die Städte nicht an einem größeren Flusse gelegen sind. Sie gruppieren sich meist um eine Schachtanlage und zeigen dabei kein städtisches Gepräge mit scharf abgegrenzter bebauter Fläche; vielmehr ist die Besiedelung punktweise über ein weites Gebiet zerstreut, auf dem sich zwischendurch Weizenfelder und Birkenbüsche finden. Die Eingemeindungsprobleme bieten daher große Schwierigkeiten.

Der bodenständigen Bevölkerung entstammen die Industrieführer, die sich teils aus einfachen Anfängen emporgearbeitet haben, teils seit Generationen in leitenden Stellungen stehen. Nicht so bodenständig sind die Arbeiter, unter denen sich viele fremde Elemente befinden. Jedoch machen Polen und Tschechen noch nicht 10% der Bergarbeiterbevölkerung aus.

Der Verlust Lothringens mit seiner Hüttenindustrie hatte eine weitgehende Umstellung des Wirtschaftsbetriebes zur Folge, deren Auswirkung in der Tendenz zur Konzernbildung gipfelt. Der Vortragende behandelte dieses Thema ausführlicher, ging auf dessen Bedeutung für ganz Deutschland näher ein, erörterte die durch die Ruhrbesetzung und die spätere Aufgabe des passiven Widerstandes geschaffene Lage und entwarf ein wenig tröstliches Zukunftsbild. *O. B.*

Deutsche Meteorologische Gesellschaft.

(Berliner Zweigverein.)

In der Sitzung vom 13. November 1923 sprach Herr Dr. *Albrecht* über **Hygrometrische Widerstände,** wobei im besonderen ihre Anwendungsmöglichkeiten in der Aerologie behandelt wurden.

Von den verschiedenen Methoden zur Bestimmung der Luftfeuchtigkeit kommen für aerologische Zwecke nur das Psychrometer und die mechanischen Hygrometer in Betracht. Obwohl beide in den letzten Jahrzehnten wesentlich vervollkommnet sind, ist ihre Anwendungsmöglichkeit, besonders in der Aerologie, begrenzt, und diese Tatsache veranlaßte den Vortragenden, nach einer neuen Methode zu suchen. Bei dieser verwendet er die Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit einer dünnen Schicht einer hygroskopischen Substanz von der Feuchtigkeit der umgebenden Luft, wobei es möglich ist, eine hohe Einstellgeschwindigkeit zu erreichen, wenn das Verhältnis der Schichtoberfläche zur Schichtdicke hinreichend groß ist. Die Grenzen des Meßbereiches mit wasserlöslichen hygroskopischen Stoffen und ihre Abhängigkeit von der relativen Feuchtigkeit und der Temperatur wurden theoretisch und durch physikalische Versuche ermittelt. Es ergaben sich folgende Leitsätze: Die hygroskopischen Widerstände sind abhängig von der relativen Feuchtigkeit. Bei Luft-

sättigung sind sie bestrebt, unendlich viel Wasser aufzunehmen. Ihr Meßbereich ist bei geringen Luftfeuchtigkeiten und bei Temperaturen unter Null auch bei hohen Luftfeuchtigkeiten begrenzt. Der Meßbereich wird um so kleiner, je tiefer die Temperatur ist. Die Wasseraufnahme der hygroskopischen Körper ist bei gleichbleibender Luftfeuchtigkeit annähernd unabhängig von der Temperatur. Die Leitfähigkeit des hygroskopischen Widerstandes nimmt mit sinkender Temperatur dauernd ab, bei konstanter Temperatur ist sie dagegen eine mit wachsender Luftfeuchtigkeit stets zunehmende Funktion der relativen Luftfeuchtigkeit; die relative Feuchtigkeit ist somit aus dem Wert der Leitfähigkeit des hygroskopischen Widerstandes eindeutig bestimmt. Die Trägheit des Widerstandes nimmt ab mit wachsendem Verhältnis der Oberfläche zum Volumen, mit abnehmendem Barometerstand, mit zunehmender Ventilationsgeschwindigkeit und mit wachsender Luftfeuchtigkeit; sie nimmt zu mit abnehmender Maximaldampfspannung.

Es wurden verschiedene Ausführungsformen der hygroskopischen Widerstände durchprobiert. Am zweckmäßigsten erwies sich für die aerologischen Aufstiege eine Form, bei der dünne Seidenfäden als Träger des hygroskopischen Stoffes benutzt wurden, die zwischen in rechteckiger Form gebogenen, verzinkten Eisendrähten von 1,5 mm Stärke gespannt waren. Als hygroskopischer Stoff wurde vorwiegend eine mit Salz getränkte Glyzerinlösung einfach durch Aufstreichen auf die Fäden gebracht. Aus den mitgeteilten Beobachtungsergebnissen, die bei Aufstiegen mit dem Flugzeug gewonnen wurden, geht hervor, daß das Widerstandshygrometer wegen seiner geringen Trägheit vor allem bei niedrigen Feuchtigkeitsgraden dem Haarhygrometer überlegen ist. Daneben dürfen aber die störenden Eigenschaften der hygroskopischen Widerstände nicht übersehen werden. Sie zeigen sich bei Widerständen größerer Fläche in den Ausstrahlungserscheinungen, bei Gleichstromwiderständen in der sogenannten „Auszehrung", d. h. in einer dauernden Widerstandszunahme von überlasteten Widerständen auch bei unveränderter Luftfeuchtigkeit, bei Glyzerinwiderständen in der Verdunstung und vor allem in der Wasseraufnahme. Während es gelungen ist, den größten Teil der Fehler zu beseitigen oder unschädlich zu machen, gilt dies für die sehr störende Wasseraufnahme bei gesättigter Luft noch nicht, und weitere Untersuchungen sollen erst noch über eine Schutzvorrichtung Aufschluß geben.

Kn.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Insulin und Acetaldehydbildung im Tierkörper. Nur wenige biochemische Entdeckungen haben in den letzten Jahren ein größeres Interesse erregt als die Auffindung des Insulins, das den normalen Ablauf des Kohlenhydratstoffwechsels im tierischen Organismus bestimmt. Noch auf dem Internationalen Physiologenkongreß in Edinburgh im Herbst vorigen Jahres teilte der Entdecker des Insulins *Macleod* mit, daß über den Mechanismus der Wirkungsweise des neuen Hormons nichts ausgesagt werden könne. Es bestehen zwei Möglichkeiten: Entweder kann das Inkret der Pankreasdrüse den Kohlenhydratstoffwechsel dadurch regeln, daß es die Stapelung nicht verbrennenden Zuckers in Form des Reservekohlenhydrates Glykogen fördert, oder das Hormon führt den Zucker gesteigertem Abbau zu. Es ist aber auch denkbar, daß das Insulin zwei Angriffspunkte hat, von denen evtl. der eine der wesentlichere ist. Auch könnte die Insulinwirkung eine indirekte sein, indem die Substanz etwa wie das Adrenalin auf nervösem Wege den Kohlenhydratstoffwechsel reguliert.

Soeben haben nun *Neuberg, Gottschalk* und *Strauß* (Deutsche Medizin. Wochenschr. 1923 Nr. 45) nachgewiesen, daß das *Insulin in die Abbauvorgänge der tierischen Zelle einzugreifen vermag.* Mit Hilfe der Neubergschen „Abfangverfahren", die so wesentliche Einblicke in den Kohlenhydratumsatz der niederen Organismen gewährt haben, hatten *Neuberg* und *Gottschalk* kurz vorher (Klin. Wochenschr. 1923 Nr. 31) gezeigt, daß in der normalen Muskulatur sowie in der Leber der Abbau des Zuckers über die Acetaldehydstufe vor sich geht, genau wie bei der Hefegärung und bei bakteriellen Zuckerspaltungen. Unter dem Einfluß des Insulins steigt die Menge des als Zwischenprodukt erzeugten Acetaldehyds. Somit ist ein Hinweis gegeben, daß die Wirkung des Insulins für die Entstehung eines *Abbauproduktes* im Kohlenhydratstoffwechsel von Bedeutung ist. Das ist als ein wesentlicher Fortschritt zu betrachten.

Bisher hat man den Abbau des Zuckers nur und auch nicht sehr vollständig bis zur Milchsäure verfolgen können. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um eine Oxydation, sondern um eine intramolekulare Umlagerung, da Milchsäure noch dieselbe prozentische Zusammensetzung und nahezu den gesamten Energieinhalt des Zuckers aufweist. Durch die Feststellung, daß bei der physiologischen Oxydation Acetaldehyd hervorgebracht wird, tritt die Verwandtschaft der Zellvorgänge bei Mikroorganismen und warmblütigen Tieren in eindrucksvoller Weise zutage.

Es ist nun lehrreich, daß nach der von *Neuberg* und *Gottschalk* aufgestellten Berechnung die Bildung von Acetaldehyd in der tierischen Zelle keineswegs geringer als in der Hefezelle ist; denn die wirksamen Oberflächen gleicher Mengen Hefesuspension und Leberbrei stehen im Verhältnis von

$$\frac{V}{4/3\, Q_1^3 \pi} 4\, Q_1^2 \pi : \frac{V}{4/3\, Q_2^3 \pi} 4\, Q_2^2 \pi$$

d. h. in der Proportion der Radien, welche die als kugelige Gebilde angenommenen Hefezellen einerseits und die als kugelige Zellhaufen betrachteten Leberpartikel andererseits besitzen. Dieses Verhältnis ist etwa gleich 120 : 1. Das besagt, daß bei gleichen Gewichtsmengen die Oberfläche der Hefe sehr viel größer ist als die des Leberpräparates. Es ist eine erstaunliche Leistung der Methodik, daß man von dem höchst veränderlichen Acetaldehyd angesichts der experimentell schwierigen Bedingungen, wie sie beim Arbeiten mit tierischen Zellen bestehen, genügend abfangen kann.

Die Autoren haben die Versuchsanordnung so ausgestaltet, daß der beschriebene Effekt jederzeit als Vorlesungsversuch vorgeführt werden kann.

Martin Jacoby.

Die röntgenographische Darstellung der Blutgefäße am Menschen. Die Untersuchung des Herzens mit Röntgenstrahlen gehört seit langem zum gesicherten Bestand der medizinischen Forschung und bietet, dank der stark differierenden Dichtigkeit des Organs

selbst und seiner Umgebung, keine Schwierigkeiten. Dagegen blieben die Versuche einer Röntgenographie der Gefäße am lebenden Menschen bisher erfolglos. Jetzt ist auch dieses Problem durch die Untersuchungen der Frankfurter Forscher *I. Berberich* und *S. Hirsch*, die hierüber in der Klinischen Wochenschrift (Jg. 2, Nr. 49, Seite 2226) berichten, gelöst.

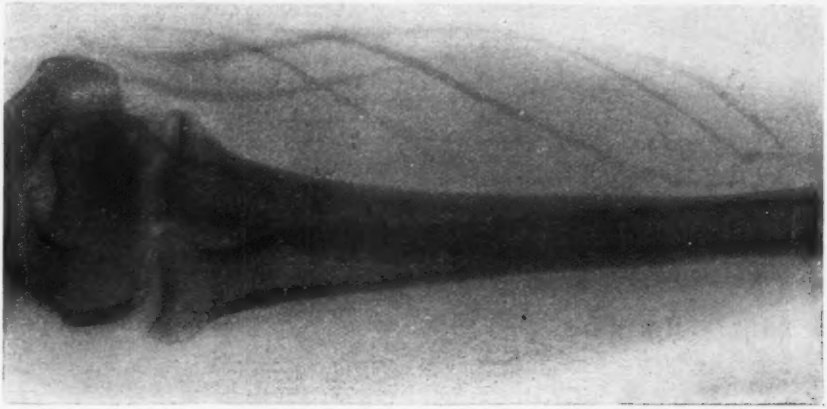

Fig. 1. Röntgenbild des Venengeflechtes am Unterarm.

Fig. 2. Röntgenbild der arteriellen Versorgung der Hand.

Für die röntgenographische Darstellung kontrastarmer Organe war die vor 20 Jahren erfolgte Einführung von dichtigkeitsteigernden Substanzen in die Hohl-

organe des Herzens von ausschlaggebender Bedeutung. Erst diese Methode ermöglichte die Abbildung röntgenographisch an sich nicht zugänglicher Organe wie des Magen- und Darmkanals (Füllung mit Wismut, *Rieder* 1904), des Nierenbeckens (Kollargol, *v. Lichtenberg* und *Völcker*). Für die Röntgenographie der Gefäße bestand die Aufgabe darin, ein Kontrastmittel zu finden, das bei reaktionsloser Aufnahme am Orte der Einführung für den Gesamtorganismus unschädlich ist. Ferner mußte die Blutströmung bis zu einem gewissen Grade ausgeschaltet werden. Bei verschiedenen derartigen Versuchen mit wässerigen Lösungen der Alkalierden und Halogene, die von *Berberich* und *Hirsch* zu ihren Versuchen benutzt wurden, erwies sich das Strontium bromatum als am stärksten schattengebend. Das Mittel wurde in einer Menge von 5—10 ccm in 10- bis 20prozentiger Lösung in die Gefäßbahn injiziert und gleichzeitig wurde der Blutrückfluß durch zentrale Stauung gehemmt. Auf diese Weise gelang es, die vorstehenden schönen Bilder des Venengeflechts am Unterarm (Fig. 1) und der arteriellen Versorgung der Hand (Fig. 2) zu erzielen. Bemerkenswert ist, daß ein Präparat benutzt wurde, das seit längerer Zeit in die Blutbahn gebracht wird, ohne daß man sich seiner röntgendiagnostischen Verwertbarkeit bewußt war. *S.*

Zoologische Mitteilungen.

Untersuchungen über die Verschiebung der Vererbungsrichtung bei Echinodermen-Bastardlarven unter dem Einfluß von Ammoniak. (*Walter Landauer*, Archiv für Entwicklungsmechanik Bd. *52*, 1922.) Die Arbeit bildet eine Fortführung der „Vererbungsstudien" von *Herbst*. War in jenen gezeigt worden, daß die Eier von Sphaerechinus granularis unter dem Einfluß von Fettsäuren und Kohlensäure (*Hinderer*) einen Anstoß zur parthenogenetischen Entwicklung erhielten, der aber nicht zur Furchung, sondern nur zur Kernvergrößerung durch Monasterbildung führte, und daß bei nachfolgender Befruchtung mit Sperma von Strongylocentrotus lividus Bastardplutei entstanden, die gegenüber dem intermediären Aussehen normaler Bastarde eine sehr starke Annäherung an das Aussehen des mütterlichen Skelettes zeigten, so sollte durch die vorliegenden Versuche zunächst bewiesen werden, daß die früheren Ergebnisse nicht auf eine spezifische *Säure*wirkung zurückzuführen sind. Durch Behandlung der Eier mit Ammoniak kann ebenfalls die Bildung von ein, zwei oder sogar drei Monastern ausgelöst werden, nach denen dann die Entwicklung mit sehr seltenen Ausnahmen stillsteht, wenn nicht Befruchtung erfolgt. Die „Ammoniaktiere" zeigen eine überaus starke Annäherung an das Skelett der mütterlichen Plutei. Damit ist ein weiterer sicherer Beweis gegeben, daß die *Quantität* der Eikernmenge für das Aussehen der Bastarde verantwortlich ist, daß die Vermehrung der Eikernmenge eine Verschiebung der Vererbungsrichtung nach der mütterlichen Seite zur Folge hat. Der väterliche Einfluß bleibt dabei deutlich nachweisbar. Auch die Plutei aus den Versuchen zeigen vergrößerte Kerne. Bei den unbefruchteten Eiern sind die Kern*inhalte*, bei den Plutei die Kern*oberflächen* direkt proportional der in ihnen enthaltenen Chromatinmenge. Für die ersteren ist also die Angabe *Hinderers*, für die letzteren jene *Boveris* richtig. Physiologische Vorgänge während der Entwicklung sind für diese Größenänderung verantwortlich zu machen. Die Kerne normaler Bastardplutei sind etwas größer als die reiner elterlicher Larven; eine Erklärung hierfür fehlt zunächst. Die Chromosomenzählung bei Monasterteilungen nach der Spaltung der Chromosomen ergab Zwischenwerte zwischen der einfachen und doppelten (bzw. bei zwei Monastern zwischen der zwei- und vierfachen, bei drei zwischen der vier- und achtfachen) Zahl. Diese Zwischenwerte (plus den dann hinzugekommenen väterlichen Chromosomen) konnten auch auf den Tochterplatten nach der Befruchtung gezählt werden. Es fanden sich zwischen den normal großen dickere Chromosomen; verdoppelt man deren Zahl, so erhält man die zu erwartende Chromosomenzahl. Bei der Monasterteilung waren also die Spalthälften einzelner Chromosomen sofort wieder verschmolzen. Die Vermutung *Boveris*, daß väterliches Chromatin eliminiert werde und daraus die Verschiebung der Vererbungsrichtung zu erklären sei, wird damit hinfällig. Es konnte auch stets eine richtige Kopulation von Ei- und Spermakern bei der Befruchtung der mit Ammoniak vorbehandelten Eier beobachtet werden. Nur in sehr seltenen Fällen wird der Spermakern bei der ersten Furchungsteilung unregelmäßig zerzogen oder gelange väterliche Chromatinanteile aus der Spindel heraus; im allgemeinen nehmen die väterlichen Chromosomen in regelmäßiger Weise an der Furchung teil.

Größe und Abstand der Spindeln sind abhängig von der Menge an Kernsubstanz. Die Länge der Spindeln ist in erster Linie abhängig von der Anzahl der vorangegangenen Kernteilungen (*Hinderer*); die Cytoplasmamenge hat in unseren Versuchen hierfür sicher keine Bedeutung, denn auch während der Monasterteilungen, d. h. bei gleichbleibender Plasmamenge, nimmt die Spindellänge von Teilung zu Teilung ab. Eine Wirkung von *Zustandsänderungen* des Plasmas während der Entwicklung auf die Spindellänge ist dagegen wahrscheinlich. In den Eiern mit vergrößerten Kernen treten vor und während der Chromatinbildung Nucleolen auf, die vermutlich an der Chromatinbildung beteiligt sind.

Cytologische Untersuchungen an normalen und experimentell beeinflußten Dipteren (Calliphora erythrocephala). (*Hans Loewenthal*, Archiv für Zellforschung, Bd. *17*, 1923.) Der Arbeit liegt die Frage nach dem kausalen Zusammenhange von Körpergröße und Zellgröße zugrunde. Zur Untersuchung dienten die Entwicklungsstadien der gemeinen Schmeißfliege (Calliphora erythrocephala), die in ihrer Körpergröße stark variiert. Diese Größenunterschiede sind als Ernährungsmodifikationen aufzufassen. Da nur Individuen derselben Art untersucht und verglichen wurden, konnte die Frage nach der Ursache ihrer Größendifferenz auch so formuliert werden, daß man fragte, ob die Größe einer spezifischen Gewebezelle konstant ist oder nicht. Im Ruhestadium vor Eintritt der Verpuppung, in dem die Larven kein Futter zu sich nehmen, wurden die Gewebe normaler, d. h. reichlich ernährter, und die von unterernährten Larven verglichen. Die Hungerlarven sind außerordentlich viel kleiner als die normalen Tiere und kommen viel früher zur Verpuppung. Die vergleichende Untersuchung der Gewebe ergab sehr beträchtliche Größenunterschiede der larvalen Zellen

(Hypodermis, Muskulatur, Fettzellen, Speicheldrüsen, Vasa malpighi und Mitteldarmepithel). Im Gegensatz hierzu zeigten die Zellen der imaginalen Gewebekomplexe großer und kleiner Larven keinerlei Größendifferenzen (bes. Gonadenanlage untersucht). Die Größenunterschiede solcher Organe kommen lediglich durch Verschiedenheit der sie zusammensetzenden Zellzahl zustande. Ebenso zeigten die Gewebe der ausgebildeten Imagines, die sofort nach dem Schlüpfen fixiert wurden, keine Differenzen in der Zellgröße entsprechender Gewebe, auch hier sind die Unterschiede in der Körpergröße bedingt von der Zellenzahl. Der Unterschied im Verhalten der larvalen und imaginalen Gewebe erklärt sich daraus, daß die larvalen Zellen mit Abschluß der Embryonalentwicklung ihre Vermehrungstätigkeit einstellen, das Larvenwachstum beruht völlig auf Größenwachstum der Einzelzellen (abgesehen eben von den Zellen der Imaginalanlagen). Aus dem Unvermögen der larvalen Zellen sich zu teilen erklärt sich auch der völlige Mangel von Regenerationsfähigkeit. Auf der einen Seite finden wir also äußerst frühzeitige Differenzierung mit Sistierung der Teilungsfähigkeit bei den Larvenzellen, auf der anderen Seite relativ späte Differenzierung mit Erhaltenbleiben der Teilungsfunktion bei den imaginalen Zellen. Das Ergebnis der Fragestellung ist also: „Größenunterschiede von Individuen der gleichen Art beruhen auf verschiedener Zellenzahl, verschiedene Zellengröße spielt nur eine Rolle bei denjenigen Gewebezellen, bei denen infolge frühzeitiger Differenzierung auch eine frühe Sistierung der Teilungsfähigkeit erfolgt ist." Die bisherigen Angaben der Literatur stehen mit diesem Resultat im wesentlichen im Einklang.

Als zweites Problem vergleicht der Verfasser die Reaktion der Keim- und Somazellen auf äußere Einflüsse. Es wurden Puppen von Calliphora extremen äußeren Bedingungen (Frost bis —11 ° C bis zu 22 Stunden lang, Hitze bis 42 ° C 2 Stunden einwirkend, mehrmaliges Narkotisieren mit Äther oder Alkohol, Verhinderung des Ausschlüpfens) ausgesetzt. Entsprechend früheren Angaben (Schmetterlinge *v. Schuckmann*) tritt auch hier ein Stillstand in der Entwicklung ein. Die Untersuchung ergab, daß Keimzellenanlage und Soma auf die Schädigung in keiner Weise reagieren. Bei den normalen wie den experimentell beeinflußten Fliegen befanden sich die Ovarien auf dem gleichen Entwicklungsstadium (Bildung der ersten Eikammer). Auch in der weiteren Entwicklung der Gonadenanlage sowie dem sonstigen Aussehen ergaben sich keine Differenzen der experimentell beeinflußten gegenüber den normalen. Dieser Teil der Arbeit, der auf die Erzeugung von Aberrationen und Mutationen hinzielte, brachte ein negatives Ergebnis.

Kleine Beobachtungen und Ideen zur Zellenlehre IV. Die Sammelchromosomen der Schmetterlinge. (*Richard Goldschmidt*, Archiv für Zeliforschung, Bd. *17*, 1923.) Bei Lymantria dispar findet man in der Prophase der Reifeteilung der Spermatocyten große bandförmige Chromosomen in viel geringerer Zahl als 31 (der haploiden Chromosomenzahl). Es treten darnach zuerst „Sammelchromosomen" auf, die dann in die kleineren Chromosomen zerfallen. Diese Sammelchromosomen sind kurz vor der 1. Reifeteilung, wenn die Chromosomen schon begonnen haben auseinanderzurücken, auf der Höhe ihrer Ausbildung angelangt. Ihre Gestalt erscheint zunächst unregelmäßig. Die Einzelchromosomen sind an ihnen als deutliche Anschwellungen zu erkennen, manchmal sind sie zu starken Anschwellungen verklumpt. Diese Einzelchromosomen sind durch eine Kittsubstanz, die wohl mit dem achromatischen Kerngerüst identisch ist, verbunden. Jedes Sammelchromosom enthält 4—5 Einzelchromosomen. Die Zahl der vorhandenen Sammelchromosome ließ sich nicht immer sicher bestimmen, doch ergaben sich meist 9 oder 10 Chromosomen, und zwar 6 bis 7 größere und einige kleinere. Wahrscheinlich ist die Zahl der Sammelchromosomen konstant und beträgt 10. Die Form der Sammelchromosomen schwankt je nach dem Grad von Kompaktheit der in ihnen enthaltenen Einzelchromosomen.

In den Kernen der Wachstumsphase der Spermatocyten findet sich ein diffuses Gerüstwerk mit einem großen Nucleolus. Der Verdichtungsprozeß in diesem Gerüst führt über Stränge und Knotenpunkte zu chromosomenartigen Verdichtungen, die gruppenweise durch Kerngerüstbrücken verbunden sind. Nur einzelne Chromosomen treten schon als isolierte bivalente Elemente hervor; es sind wohl diejenigen, die auch in den späteren Prophasen als Einzelchromosomen erhalten bleiben. Die Netzmaschen werden in die Hauptstränge eingezogen, diese werden zu den Sammelchromosomen.

Zu Beginn der Reifeteilung, wenn der Kern noch völlig erhalten ist, ordnen sich die sechs großen und vier kleinen Sammelchromosomen in einer Ebene zur Äquatorialplatte an. Die einzelnen Sammelchromosomen haben sich stark konzentriert, sind deutlich bivalent und lassen jetzt ihre Zusammensetzung aus Einzelchromosomen deutlich hervortreten. Darauf zerfallen nun die Sammelchromosomen in die Einzelchromosomen, aus denen sie entstanden waren. Es folgt die Ausbildung der Platte aus Einzelchromosomen, die sich genau in eine Ebene einstellen.

Ähnliche Verhältnisse konnte *G.* bei Lymantria monacha und Callosomia promethea feststellen. In den reifenden Eizellen von Psychiden wurden von *Seiler* entsprechende Erscheinungen beobachtet.

G. hält es für wahrscheinlich, daß diese Sammelchromosomen von großer Bedeutung für die cytologische Erklärung des Faktorenaustauschs sind. Für die von *Morgan* zur Erklärung des Faktorenaustauschs herangezogene Chiasmatypie liegen außer den Beobachtungen von *Janssens* an Batrachoseps nur Angaben von *Gelei* für Dendrocoelum vor. *Goldschmidt* hat schon früher dargelegt, daß bisher kein Grund vorliege, anzunehmen, daß die Chromosomenkarten *Morgans* eine Realität darstellen, d. h. daß die aus den Faktorenaustauschwerten errechneten Distanzen lineare Entfernungen seien. Er stellte dem vielmehr den überaus überzeugenden Einwand entgegen, daß „jede regelmäßige Relation sich geometrisch als Distanz auf einer Geraden darstellen läßt, und daß somit irgendeine Gesetzmäßigkeit im Faktorenaustausch, was auch ihre reale Grundlage sein möge, sich nach Art der Chromosomenkarte darstellen lasse". Alle Beweise, die für die Realität der typischen Faktorendistanz im Chromosom und die Chiasmatypie als Ursache des Faktorenaustauschs bisher angeführt worden sind, können daher ebenso gut für jede andere Erklärung sprechen, die sich geometrisch durch relative Distanzen auf einer Geraden ausdrücken läßt. Im Rahmen dieser Möglichkeiten stellte *Goldschmidt* eine Hypothese auf, nach der durch die Beschaffenheit des Substrats (Chromosomenskelett) wie der Gensubstanz bedingte spezifische Adsorption dieser Gensubstanzen an das Chromosomenskelett stattfindet. Je nach dem Ähnlichkeitsgrad der Gene würde

hierbei bei starker Differenz jedes Gen in sein bestimmtes Chromosom kommen, bei großer Ähnlichkeit aber ein Austausch möglich sein. Daraus geht jedenfalls hervor, „daß nicht Chromosomenstrecken grobmechanisch ausgetauscht werden, sondern daß die einzelnen Gene als Konsequenz ihrer eigenen Beschaffenheit wie der des Chromosomenskeletts ausgetauscht werden".

Die mitgeteilten Beobachtungstatsachen über die Sammelchromosomen zeigen neue Möglichkeiten für die Erklärung des Faktorenaustauschs. Unter der Voraussetzung, daß die Sammelchromosomen die eigentliche Chromosomenzahl repräsentieren; läßt ihr Verhalten folgende Möglichkeiten zu: 1. die Einzelchromosomen treten in genau elterlicher Lagerung zu den Sammelchromosomen zusammen, dann kann bei der Ausbildung der Äquatorialplatte, der Reifeteilung und dem Zerfall in die Einzelchromosomen dieser Zusammenhang erhalten bleiben, was einer streng gekoppelten Vererbung entspräche, oder die Einzelchromosomen stellen sich nach dem Zerfall rein zufällig in der Spindel ein, das mendelistische Verhalten oder schließlich die Einzelchromosomen bleiben zwar gewöhnlich in der richtigen Lage, aber gelegentlich löst sich doch eines los und stellt sich zufällig ein, womit das Faktorenaustauschphänomen realisiert wäre; 2. die Einzelchromosomen müssen bei der Ausbildung der Sammelchromosomen nicht in ihrer richtigen Reihenfolge zusammentreten, dann entscheidet entweder nur der Zufall, rein mendelistisches Verhalten oder die richtige Reihenfolge bleibt Regel und wird nur gelegentlich durchbrochen, Faktorenaustausch.

Diese Überlegungen zeigen nur eine Erklärungs*möglichkeit* des Mechanismus des Faktorenaustauschs. Reale Bedeutung würde der Fall erst dann erlangen, wenn im Vererbungsexperiment gezeigt werden könnte, daß die Faktoren nicht zu 31 Koppelungsgruppen (die Zahl der Einzelchromosomen), sondern nur zu 10 (die Zahl der Sammelchromosomen) gehören.

Racial investigations. IV. The genetic behaviour of a secondary sexual character (*Johs. Schmidt*, Comptes Rendus des travaux du Laboratoire Carlsberg Vol. *14*, 1920). *Schmidt* kreuzte zwei verschiedene Rassen von Lebistes reticulatus Regan, einem lebendgebärenden Zahnkärpfling aus Westindien und dem nördlichen Südamerika. Das Aussehen der Weibchen beider Rassen ist gleich, während die Männchen charakteristische Farbunterschiede zeigen. Die Männchen der einen Rasse (*B*) weisen auf der Rückenflosse einen großen schwarzen Pigmentfleck auf, der den anderen (*A*) fehlt, die Körperfarbe der ersteren ist hell-karmin, die der andern mehr dunkel gelblich-rot. Die Untersuchung bezieht sich nur auf den schwarzen Fleck auf der Rückenflosse. Ein Männchen von *B* wurde mit einem Weibchen von *A* gekreuzt, es brachte 78 Junge zur Welt, darunter 36 Männchen. Alle diese F_1-Männchen glichen hinsichtlich des Flecks völlig dem Vater; über die Weibchen ist nichts zu bemerken, da es sich um ein Merkmal handelt, das nur im männlichen Geschlecht auftritt. Es wurden nun die F_1-Tiere, dann die F_2-Tiere untereinander gekreuzt usw. bis zu F_5. Alle Nachkommen zeigten in gleicher Stärke den schwarzen Fleck; unter den 998 Tieren, die von F_2—F_5 aufgezogen wurden, trat kein einziges auf, das irgendein Herausspalten der ungefleckten Form gezeigt hätte. Weiterhin wurden dann Rückkreuzungen nach beiden Richtungen ausgeführt und auch daraus gingen ausschließlich gefleckte Männchen hervor. Das Ergebnis aller Kreuzungsversuche ist also, daß ungefleckte Männchen nur ungefleckte, gefleckte Männchen nur gefleckte Nachkommen haben — gleichgültig von welcher Rasse die zur Paarung verwendeten Weibchen stammen. Niemals wurde ein Anzeichen einer *Mendel*-Spaltung beobachtet. Wie läßt sich dieses Verhalten erklären? Die Möglichkeit protoplasmatischer Erbübertragung scheint dem Verf. schon deshalb außer Frage, weil es sich um ein vom Vater stammendes Merkmal handelt. Man könnte nun zunächst vermuten, daß für das Entstehen des Flecks mehrere Faktoren verantwortlich sind. Aber dagegen spricht schon, daß die F_1-Generation nicht intermediär ist, sondern völlig dem Vater gleicht, vor allem aber müßte dann eine Rückkreuzung von F_1-Weibchen der Kreuzung gefleckt × ungefleckt mit ungefleckten Männchen eine gefleckte Nachkommenschaft ergeben. Das war aber nicht der Fall; vielmehr waren die 265 Männchen aus dieser Kreuzung alle ungefleckt. Die einfachste Erklärung der Kreuzungsergebnisse ergibt sich, wenn man annimmt, daß der Faktor für die Hervorrufung des Flecks im *Y*-Chromosom des Männchens vererbt wird. Das Weibchen hat dann die Formel *XX* und produziert nur Gameten mit *X*, das Männchen die Formel *XY* und produziert Gameten mit *X* und solche mit *Y*. Da *XY* Männchen gibt, erhalten nur diese den Fleck, die Eigenschaft kann nur durch das Männchen übertragen werden.

Außer interessanten Mitteilungen über das Gonopodium und die Spermatozeugmen dieser Tiere, auf die wir nicht eingehen können, berichtet *Schmidt* noch über folgende Experimente. Die Weibchen von Lebistes gebären nach einmaliger Befruchtung mehrmals — bis zu siebenmal — in Abständen von einem Monat. Wurde ein Weibchen direkt nacheinander mit Männchen beider Formen gepaart, so gehörten die F_1-Männchen z. T. der einen, z. T. der andern Form an. Wurde aber das gleiche Weibchen alternierend nach jedem Wurf mit einem Männchen der andern Form gepaart, so wechselte auch das Aussehen aller F_1-Männchen entsprechend. Man muß daraus den Schluß ziehen, daß die frischen Spermien besser beweglich sind als jene, die sich schon einige Zeit im Genitaltrakt des Weibchens befinden, so daß die letzteren nach Befruchtung des Weibchens mit einem Männchen der anderen Form nicht mehr zur Wirkung kommen.

Bridges hatte bei seinen Drosophilaexperimenten schon gezeigt, daß — trotzdem nie ein Faktorenaustausch zwischen *X*- und *Y*-Chromosom aufgetreten war — dem *Y*-Chromosom eine Funktion zukommen müsse, da $X-O-\delta$ (ohne *Y*-Chromosom) steril sind. Nachdem nun *Schmidt* die Vererbung von Farbcharakteren im *Y*-Chromosom von Lebistes nachgewiesen hatte, zeigte *Aida* das gleiche bei einer anderen Fischart (Aplocheilus). *Federley* hat bei der cytologischen Analyse seiner Speziesbastarde von Pygaera gefunden, daß das *Y*-Chromosom etwas mit der Bestimmung der Weiblichkeit zu tun haben müsse, und zu diesem Schlusse führen auch Untersuchungen von *Goldschmidt*, die z. T. schon 1919 veröffentlicht wurden.

W. Landauer.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. *Dr. Arnold Berliner*, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck von H. S. Hermann & Co. in Berlin SW 19.